

Trabajo de fin de máster

Desarrollo de procedimiento y dispositivo de fresado de modelos impresos en 3D aplicados al sector protésico-dental.

Proyecto desarrollado y firmado por Fernando Daniel Gallego Meléndez, con DNI 75916499-P, como alumno de la Escuela Politécnica Superior de Algeciras. Tutor del proyecto: David Sales Lérida.



Agradecimientos

Escribir estas palabras supone el fin de una etapa y el inicio de otra aún mejor, después de tanto esfuerzo solo puedo agradecer a todas esas personas que estuvieron a mi lado, preguntando, animando, ayudando y aconsejando; porque sin ellos, no podrías estar escuchando mi voz en tu mente, la cual te acompañará a lo largo de este apasionante proyecto, porque este proyecto es fruto de la pasión por el trabajo y por el afán de progreso.

Mis palabras de agradecimiento están dirigidas a mi familia, en especial, a mis padres, sin los cuales no hubiera llegado a ser lo que soy y como soy; a mi pareja, por apoyarme en todo momento, animándome a seguir y superarme; a mis amigos, por ser esa válvula de escape y ese espejo deformado que me hace ver las cosas de otra forma; a Waldo Zarco por plantar la semilla de esta idea, por darme la oportunidad de trabajar y crecer con él; a mi tutor David Sales y a Paco Llorens por ayudarme y asesorarme en este proyecto; y a Amando Herrero, por darme la oportunidad de mi vida y descubrirme un mundo de posibilidades.

Índice general

1. Memoria	1
1.1. Memoria descriptiva	1
1.1.1. Objeto del proyecto	1
1.1.2. Alcance del proyecto	1
1.1.3. Situación y emplazamiento	2
1.1.4. Normativa referente al proyecto	2
1.1.5. Antecedentes	3
1.1.6. Ingeniería del proyecto	4
1.1.6.1. Descripción del procedimiento	4
1.1.6.2. Restricciones de diseño del modelo	6
1.1.6.3. Impresión del modelo	12
1.1.6.4. Acabado del modelo impreso	13
1.1.6.5. Dispositivo de anclaje al soporte de la fresadora	14
1.1.6.6. Calibración del dispositivo	14
1.1.6.7. Verificación del ajuste	15
1.1.6.8. Estrategias de mecanizado	20
1.1.6.9. Mantenimiento del dispositivo de anclaje	21
1.2. Memoria justificativa	22
1.2.1. Diseño del dispositivo	22
1.2.2. Diseño de la base de impresión	28
1.2.3. Diseño de modelo de calibración	29
1.2.4. Diseño de la estrategia de mecanizado	29
1.2.4.1. Fresado del modelo de calibración	29
1.2.4.2. Fresado estético de un modelo completo	34
1.2.4.3. Fresado de zonas para carillas u otras áreas de interés	37
1.2.4.4. Fresado taladros y canales para pilares de implante	39

2. Planos

2.1.Soporte superior	1
2.2.Soporte inferior	2
2.3.Base de impresión	3
2.4.Modelo digital de calibrado	4
2.5.Modelo de calibrado para fresar	5
2.6.Ensamblaje normal	6
2.7.Ensamblaje de modelo de calibración	7

3. Pliego de condiciones

3.1.Pliego de condiciones generales	1
3.1.1.Objetivo del pliego	1
3.1.2.Descripción del proceso de fabricación	1
3.2.Pliego de condiciones facultativas	3
3.3.Pliego de condiciones técnicas	4
3.3.1.Ensayos a realizar en el producto terminado	4

4. Presupuesto

4.1.Estado de mediciones	1
4.2.Precios unitarios	2
4.3.Precios descompuestos	3
4.4.Presupuesto material	5
4.5.Presupuesto final de ejecución	6

Anexos

- I. Selección de material definitivo
- II. Calibrado del escáner 3D
- III. Hoja de datos del refrigerante

Memoria

Índice

1. Memoria	1
1.1. Memoria descriptiva	1
1.1.1. Objeto del proyecto	1
1.1.2. Alcance del proyecto	1
1.1.3. Situación y emplazamiento	2
1.1.4. Normativa referente al proyecto	2
1.1.5. Antecedentes	3
1.1.6. Ingeniería del proyecto	4
1.1.6.1. Descripción del procedimiento	4
1.1.6.2. Restricciones de diseño del modelo	6
1.1.6.3. Impresión del modelo	12
1.1.6.4. Acabado del modelo impreso	13
1.1.6.5. Dispositivo de anclaje al soporte de la fresadora	14
1.1.6.6. Calibración del dispositivo	14
1.1.6.7. Verificación del ajuste	15
1.1.6.8. Estrategias de mecanizado	20
1.1.6.9. Mantenimiento del dispositivo de anclaje	21
1.2. Memoria justificativa	22
1.2.1. Diseño del dispositivo	22
1.2.2. Diseño de la base de impresión	28
1.2.3. Diseño de modelo de calibración	29
1.2.4. Diseño de la estrategia de mecanizado	29
1.2.4.1. Fresado del modelo de calibración	29
1.2.4.2. Fresado estético de un modelo completo	34
1.2.4.3. Fresado de zonas para carillas u otras áreas de interés	37
1.2.4.4. Fresado taladros y canales para pilares de implante	39

1. Memoria

1.1. Memoria descriptiva

1.1.1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es el diseño de un procedimiento y un dispositivo para mecanizar en una fresadora de control numérico computerizado (CNC) un modelo impreso en 3D.

En este proyecto se detallará el diseño del dispositivo de sujeción del modelo impreso a la máquina, este diseño comprende desde el diseño geométrico del mismo, hasta la selección del material en el cual debe fabricarse; el dispositivo debe adaptarse al soporte de la máquina a utilizar, concretamente, el diseñado en este proyecto sigue el formato universal de disco de 98,5 mm de diámetro, adaptándose a la sujeción de seis tornillos de la fresadora CNC imes-icore 350i.

El dispositivo se ha diseñado en paralelo a un modelo de base para modelos impresos en 3D, de modo que el modelo a mecanizar se imprima fusionado a esa base, la cual encaja perfectamente sobre el dispositivo anteriormente mencionado, los detalles de este diseño también serán desgranados en los apartados previstos en el proyecto.

Para que todo esto funcione correctamente se ha diseñado un procedimiento a seguir para su uso diario, el cual engloba todo el proceso de fresar un modelo impreso en 3D, desde su diseño fusionado a la base hasta el cálculo de las estrategias de mecanizado, pasando por cómo debe imprimirse el modelo y cómo debe prepararse, colocarse y mantenerse el dispositivo durante su vida útil.

También se incluyen los procesos de verificación del ajuste de los modelos, de los prototipos del dispositivo y el diseño y procedimiento de uso de un modelo de calibración especialmente diseñado para corregir posibles desviaciones del dispositivo una vez montado en la máquina de manera definitiva.

El objetivo final de este proyecto es la consecución del título de Máster en Ingeniería Industrial por la Universidad de Cádiz, debido a la obligatoriedad del desarrollo del mismo según los planes de estudio de la Escuela Politécnica Superior de Algeciras.

1.1.2. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto abarcará el diseño completo del dispositivo de sujeción del modelo impreso al soporte de mecanizado de la fresadora. Asimismo en el proyecto se realizará un procedimiento ordenado y estandarizado para poder ejecutar el mecanizado en un entorno de fabricación asistida por ordenador (CAM),

para ello se utilizarán herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD) con el fin de diseñar una base para el modelo a imprimir y el propio dispositivo de sujeción.

Este dispositivo debe seguir unas normas y unos estándares con el fin de poderse utilizar en un sector amplio de la industria. En este caso, debido a la experiencia personal, el proyecto estará mas enfocado al sector dental, aunque al final de este proyecto sea exportable a otros sectores. Concretamente la parte experimental y el diseño del dispositivo estará enfocado a su uso con el formato estándar de disco de 98,5 mm de diámetro debido a que es el formato más extendido.

Inicialmente el procedimiento tendrá una parte genérica, pero ciertas partes dependerán del software CAM que se vaya a utilizar, en el caso que nos ocupa se llevará a cabo usando SUM3D, un software muy extendido en la industria de mecanizado en general, de forma que las estrategias de mecanizado serán lo más genéricas posible para un uso más extendido.

1.1.3.Situación y emplazamiento

El uso del dispositivo objeto de este proyecto está pensado para situarse en laboratorios protésicos dentales, talleres de mecanizado de precisión, centros de fresado y centros de formación en el área de la fabricación CAD/CAM.

El emplazamiento del dispositivo es dentro de una máquina de mecanizado por control numérico (CNC) concretamente una fresadora de 5 ejes con soporte para discos en formato de 98,5 mm de diámetro. El dispositivo se colocará en el soporte de la máquina sustituyendo al disco de materia prima, de modo que sobre él puedan mecanizarse modelos impresos en 3D.

1.1.4.Normativa referente al proyecto

La normativa a la que se ajusta el proyecto es la siguiente; para el diseño y para el uso cotidiano del dispositivo se tomarán en consideración las siguientes normas:

- **UNE-EN 13128:2002+A2 2009** Máquinas herramienta. Seguridad. Fresadoras.
- **UNE 15209:1991** Elementos modulares para la construcción de máquinas-herramienta. Cabezales multihusillo, bridas para montaje. Arrastre por espiga.

Para la verificación del ajuste de los modelos diseñados serán referencia las siguientes normas:

- **UNE 15450-8:2001** Máquinas-herramienta. Condiciones de ensayo de centros de mecanizado. Parte 8: Evaluación de la precisión del contorneado en los tres planos de coordenadas.

- **UNE-EN ISO 9001:2015** Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.

Para la fabricación de los modelos por impresión 3D:

- **UNE 116005:2012** Fabricación por adición de capas en materiales plásticos.
- **UNE-EN ISO 17296:2017** Fabricación aditiva. Principios generales.
- **UNE-EN ISO/ASTM 52921:2017** Terminología normalizada para la fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.

1.1.5. Antecedentes

Tal y como se ha mencionado anteriormente, gran parte del proyecto está orientado al sector dental debido a la experiencia laboral y a que la idea de este proyecto nace de la necesidad de este trabajo.

La industria del mecanizado CNC es relativamente moderna, concretamente en el sector dental está experimentando una expansión muy intensa durante los últimos 5 años, cambiando así oficios como el del protésico dental, haciéndolo migrar hacia una forma de trabajo más automatizada, digital, tecnológica y rápida.

Hasta hace pocos años, el trabajo del protésico dental era muy manual, el dentista enviaba una impresión de silicona del paciente y en el laboratorio se vaciaba un modelo en escayola sobre el que se trabajaba manualmente, creando modelos en cera siguiendo ciertos criterios protésicos en función del trabajo. Una vez estaba creado ese modelo encerado, siguiendo técnicas de moldeo clásicas, como el moldeo a la cera perdida, se creaba una pieza definitiva en metal o en cerámica y sobre ésta se trabajaba hasta obtener la prótesis final.

El trabajo de fabricar una corona siguiendo un criterio correcto y sin imprevistos podría llevar hasta dos días según la exigencia del trabajo usando el método tradicional; actualmente, ese mismo trabajo puede estar terminado en una fracción de ese tiempo y con un acabado y un ajuste de la prótesis considerablemente superiores al método tradicional, con el añadido de que parte del tiempo invertido puede usarse para otros trabajos mientras se mecaniza esa pieza.

En la actualidad, ese proceso está bien definido, aunque como explicaremos más adelante sigue cambiando y optimizándose. El primer paso es que la clínica dental mande las impresiones de silicona del paciente y se cree un modelo de escayola a partir de él, esto, aislado del resto de trabajos puede tomar un tiempo de algo más de una hora; posteriormente ese modelo de escayola debe escanearse para pasarlo a un modelo digital sobre el que diseñar la prótesis, en función del trabajo, esto puede suponer una media hora aproximadamente; a continuación ese modelo se lleva a un software de diseño CAD y en función de la prótesis a realizar ésta se

diseña sobre el modelo escaneado, lo cual puede llevar un tiempo de hasta una hora; tras el diseño, el modelo de la prótesis se lleva a un software CAM para proceder a su mecanizado, este tiempo es el más variable de todos, pues en fresar una pieza unitaria puede tardarse aproximadamente 30 minutos y en los casos más complejos hasta tres horas; una vez se fresa, se extrae de la máquina y se prepara manualmente para adaptarla al modelo de escayola, una vez la prótesis está ajustada está lista para mandar el cliente, es decir, a la clínica dental.

Todas estas tareas son fácilmente adaptadas a un flujo de trabajo continuo sin importar el tipo de trabajo que se lleve a cabo, el trabajo se puede fragmentar por estaciones de trabajo, de forma que la trazabilidad de los trabajos es sencilla y lineal, a esto hay que añadir que el tiempo de mecanizado es un tiempo que puede usarse para otras tareas, de forma que no solo se ahorra tiempo porque el mecanizado sea más rápido, sino porque lo realiza la fresadora CNC.

Evidentemente, este cambio en la forma de trabajar acarrea otras tareas que antes no había que realizar, con este grado de automatización hay que invertir tiempo en escanear los modelos, hay que diseñar sobre este modelo y posteriormente tratarlo en el software CAM antes de mecanizar, cuando estas tres tareas son equivalentes al modelado a mano en cera de la prótesis y en el moldeo de la misma, pero como hemos mencionado, el tiempo total es menor en el caso del método actual.

Anteriormente hemos mencionado que la forma de trabajar actual está cambiando hacia un modelo aún más automatizado e informatizado, se le conoce como «digitalización», estos cambios se traducen en la supresión del trabajo manual de crear el modelo en escayola para su posterior escaneado, es decir, en lugar de crear el modelo en escayola y escanearlo, la clínica manda un modelo en 3D de la boca del paciente que se obtiene directamente con un escáner intraoral, de modo que no es necesario crear un modelo en escayola y por lo tanto escanearlo, el diseñador trabaja directamente sobre el archivo en 3D que manda la clínica.

A cambio, se crea un nuevo paso en el proceso, la impresión 3D del modelo intraoral para comprobar el ajuste de la prótesis en la boca del paciente.

1.1.6.Ingeniería del Proyecto

1.1.6.1.Descripción del procedimiento

En este apartado pasaremos a describir el proceso completo de cómo fresar un modelo impreso en 3D, en el procedimiento debe seguirse lo estipulado en la norma **UNE-EN 13128:2002+A2 2009** sobre indicaciones generales de seguridad en máquinas-herramienta tales como fresadoras CNC.

El primer paso, como es obvio es el diseño en un software CAD, sin importar la tipología del mismo y abarcando un amplio espectro de archivos de modelos 3D, aunque sin duda el más utilizado y sencillo de utilizar será el formato .STL (Standard Triangle Language) por su versatilidad y compatibilidad con software de edición y visualización 3D.

En la etapa de diseño CAD tenemos diferentes opciones, la más sencilla sería exportar el modelo y en el software CAM de la impresora 3D, en nuestro caso una Form 2 de Formlabs, poder crear un modelo con la base diseñada específicamente para este proceso; la otra opción es la de obtener el modelo diseñado y el modelo de la base de impresión, y fusionarlos en un único sólido que será el que se imprima.

Una vez impreso el modelo, el siguiente paso, obviando la preparación y limpieza del mismo, es colocarlo en el dispositivo diseñado en este Proyecto para anclar el modelo en una posición fija dentro de la máquina de mecanizado. El dispositivo se compone de dos partes, una parte que encaja en el soporte de la máquina; en esta pieza encajaría el modelo impreso en 3D, de modo que su movimiento esté restringido por el propio diseño de las piezas; finalmente la otra parte del dispositivo encajará en la primera y reposará sobre la pieza impresa, de forma que al atornillar todo el conjunto a la máquina, esta última pieza presione al modelo impreso sobre la primera pieza, creando un bloque de todo el conjunto, impidiendo así cualquier movimiento del modelo impreso durante el mecanizado.

Posteriormente en el software CAM, que en nuestro caso de aplicación será SUM3D, importaremos el mismo archivo .STL que hemos usado para imprimir; este modelo cuenta con unas curvas y ejes de referencia que detecta automáticamente SUM3D para poder alinear el modelo importado con el dispositivo de la máquina, haciendo que el modelo digital del software CAM quede en la misma posición exacta del modelo real que ha sido colocado en la máquina. Este paso es primordial, pues es lo que permite que toda la operación termine de forma satisfactoria, pues cualquier desviación entre el modelo real que está colocado en la máquina y el modelo digital, supondrá que el volumen a mecanizar es diferente en la realidad, es decir, se mecanizarán zonas que no deben mecanizarse y otras que sí, no se mecanizarán, y dentro de las zonas que se mecanicen habrá algunas que se mecanicen con un sobremetal diferente al indicado por el archivo de mecanizado creado por el software CAM.

El mecanizado es el último paso, y éste puede ser muy diverso, ya que dependerá de la pieza a mecanizar, las zonas de interés, su función, etc. Una vez el modelo esté mecanizado se pueden realizar otras operaciones sobre la pieza o directamente retirar y el trabajo quedaría terminado.

Estos serían los pasos descritos de una forma muy genérica, pues son los pasos que deben seguirse en todos los casos posibles, a continuación se describirán con más detalle los puntos del proceso y otros puntos no incluidos en el procedimiento pero que son necesarios para el buen desempeño del dispositivo.

1.1.6.2. Restricciones de diseño del modelo

En el diseño del modelo que va a imprimirse y posteriormente mecanizarse deben tenerse en cuenta ciertos factores; estos factores son de tipo mecánico, informático y físicos.

Los factores mecánicos se refieren a las restricciones mecánicas que tiene la máquina para mecanizar el modelo. Como es evidente, la máquina no podrá fresar zonas ocultas del modelo o de muy difícil acceso como son las zonas retentivas o socavado, *undercuts*, o taladros muy profundos.

La máquina de fresado CNC cuenta con movimiento en 5 ejes, tres de desplazamiento espacial (X,Y,Z) y dos ejes de giro en los planos YZ y XZ para poder fresar zonas concretas del modelo (ejes de giro A y B).

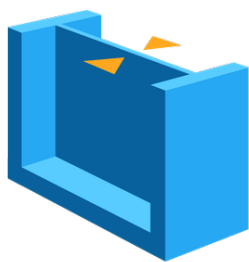
También deberá tenerse en cuenta que las zonas que van a fresarse tienen un ángulo con la horizontal, lo que obligará a la máquina a girar para acceder correctamente a la zona de mecanizado, de esta manera, es imprescindible que las zonas a mecanizar no obliguen a la máquina a alcanzar sus ángulos límites de 30° en el eje YZ (eje A de la máquina) y de 25° en el eje XZ (eje B de la máquina), también deberá tenerse en cuenta la cota del modelo, la altura susceptible a ser mecanizada es de 60 mm en total, es decir, 30 mm desde el soporte en ambas direcciones, de modo que no debe exceder los 30 mm de altura desde la base del modelo, la cual se apoya en la parte inferior del dispositivo.

El diseño del modelo se desarrolla en un entorno CAD, y a partir de aquí es exportable directamente al software de impresión y al software CAM de manera simultánea, de manera que es posible comprobar *in situ* y sin necesidad de consumir material si el diseño es imprimible y mecanizable, de modo que si alguno de los procesos puede fallar, será previsible en este paso, antes de comenzar la fabricación. En ese caso, basta con volver al software de diseño para corregir los problemas encontrados en los software de fabricación.

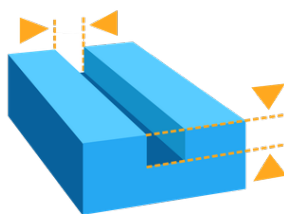
Actualmente hay multitud de herramientas para comprobar la estabilidad de los modelos y la viabilidad de los procesos de fabricación; por ejemplo, Preform, el software de impresión usado en este proyecto tiene integrado el software de Autodesk, Netfabb, un software que te permite comprobar si un modelo es imprimible.

La viabilidad de la impresión es vital, pues si la impresión tiene errores, éstos al ser imprevistos, no podrán ser corregidos en el proceso de mecanizado, para evaluar la imprimibilidad se comprueba si hay zonas que queden sin soporte, de forma que se comprometa la integridad estructural del modelo o incluso se comprueba si algunas zonas del modelo cuentan con soporte para que al imprimir la capa correspondiente a esa zona, todo quede unido en un único sólido.

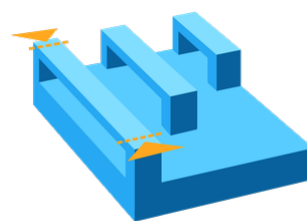
Es básico conocer las limitaciones prácticas de la impresora en cuestión; la impresora cuenta con un volumen de impresión de 145x145x175 mm, como es obvio, la base del modelo entra dentro de estos parámetros, y el modelo jamás podrá sobrepasar los 175 mm de altura porque sería imposible de mecanizar en la impresora usada en este proyecto,. Para la impresora 3D de nuestro proyecto, la Form 2, el fabricante recomienda seguir unas pautas de diseño, de forma que no se creen geometrías imposibles o inestables, a continuación se muestra una figura a modo de resumen de las restricciones de diseño según el fabricante de la impresora:



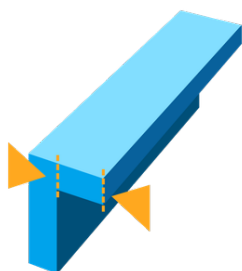
Espesor máximo de pared sin soporte: **0,4 mm**



Mínimo detalle de grabado: **0,4 mm**



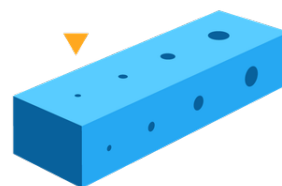
Vano máximo: **21 mm** (con un ancho de 5 mm y espesor de 3 mm)



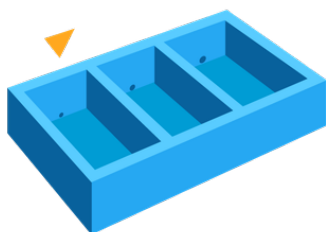
Voladizo máximo: **1 mm**



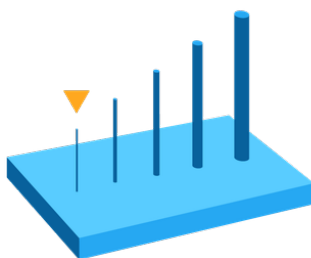
Espacio máximo entre piezas móviles: **0,5 mm**



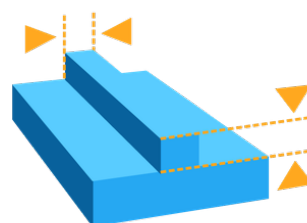
Diámetro mínimo de agujero: **0,5 mm**



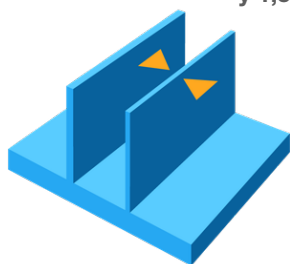
Diámetro mínimo de agujero drenaje: **3,5 mm**



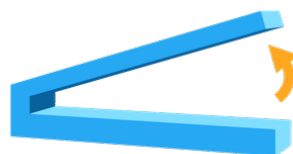
Diámetro mínimo de columna: **0,3 mm** (hasta 7 mm de altura) y **1,5 mm** (hasta 30 mm de altura)



Mínimo detalle de resalte: **0,1 mm**



Espesor máximo de pared con soporte: **0,6 mm**



Ángulo máximo de voladizo: **19°**

Figura 1: restricciones de diseño (fuente: Formlabs)

Estas recomendaciones de diseño están ligadas a un parámetro fundamental de la impresora, y es que el tamaño del punto del rayo láser que imprime el modelo tiene un diámetro de **140 micras**, lo que imposibilita imprimir una forma con un tamaño inferior.

Asimismo, SUM3D tiene herramientas de simulación de mecanizados que te permiten comprobar coordenada a coordenada el proceso de fresado de cualquier modelo, estimando la desviación en el mecanizado del modelo real respecto del modelo digital, además puede calcularse previamente el mecanizado y el software automáticamente lanzará un mensaje de alerta en caso de haber sobrepasado los límites operativos de la máquina, es decir, el ángulo de giro o cota del modelo.

La máquina cuenta con un volumen de mecanizado descrito por un cilindro de diámetro de 98,5 mm y una altura de 60 mm.

Por otro lado, los factores informáticos crean otro tipo de limitaciones, éstas van referidas a la exportación del modelo. El tratamiento de los modelos 3D digitales es fundamental; estos modelos están formados por una malla exterior que define su volumen, y esta malla está formada por multitud de triángulos cuyos vértices están unidos, de forma que crean una red que encierra el volumen del sólido. Es interesante mencionar que los modelos no son sólidos, los modelos que se crean están «huecos» por dentro, ya que el archivo .STL solo contiene las coordenadas de los triángulos que forman la malla, el tratamiento posterior es el que hace que acabe fabricándose un sólido.

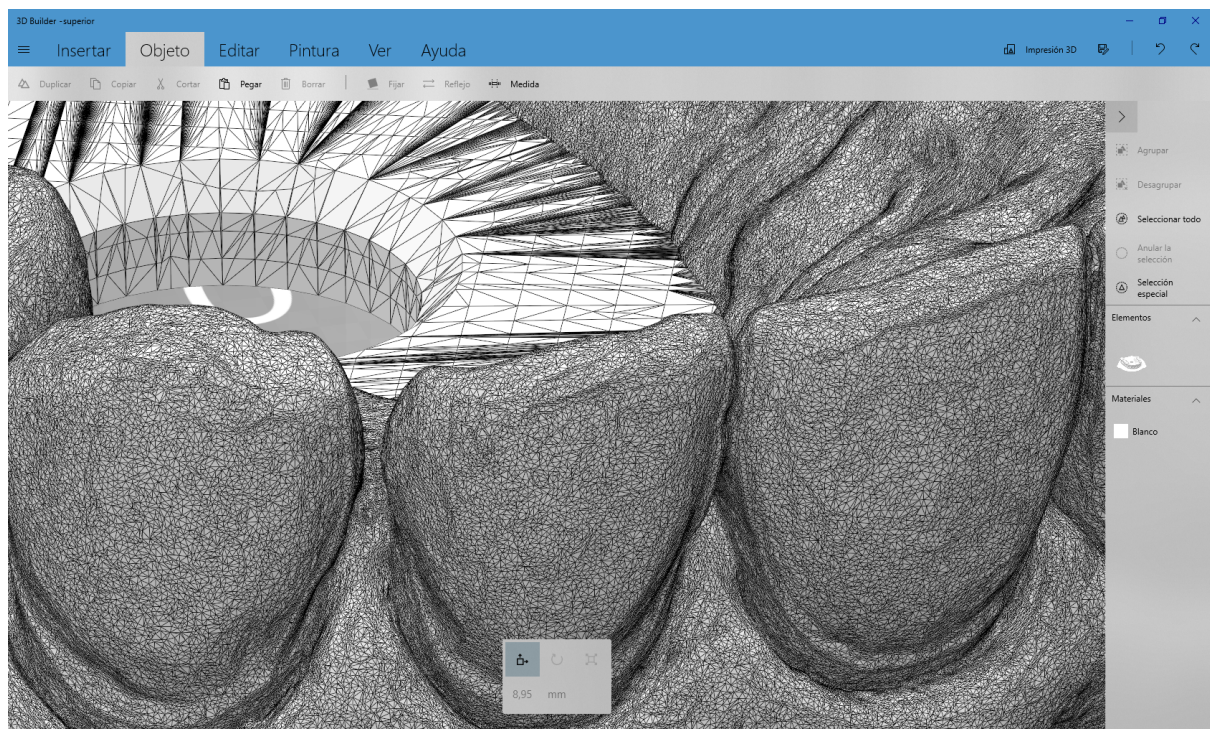


Figura 2: malla del modelo para imprimir en 3D en vista de estructura de alambre (3D Builder)

La cantidad de triángulos definirán la resolución del modelo, de modo que podemos obtener modelos muy ligeros, pero de formas imprecisas que no reflejen la realidad que queremos plasmar; por el contrario, si tenemos un modelo muy pesado, es decir, con muchos triángulos, harán que los software de impresión y CAM se comporten de manera lenta debido a los requerimientos informáticos de visualización y cálculo, es por ello por lo que hay que encontrar un punto medio entre definición y tamaño del archivo a tratar. Estos parámetros quedan abiertos al diseñador, pues son tan variables que es imposible ofrecer unos valores límites.

En ocasiones, modelos muy simples serán suficientes para su fabricación, en otros casos, aunque pesados y complejos, serán manejables por equipos que cada vez son más potentes en este tipo de trabajos.

Un punto muy importante a tener en cuenta es que las mallas deben ser consistentes, es decir, las mallas debe cerrarse perfectamente y con formas simples o en su defecto bien modeladas, de lo contrario encontraremos con defectos de impresión, obtención de una geometría irreal e incluso imposible; por ello, algunos software de impresión como el de este proyecto, cuentan con herramientas de reparación de mallas, que sirven para cerrar estas mallas de la manera más conveniente y óptima, sin embargo, habrá ocasiones en que estas tareas de reparación fallarán y se deberá volver al proceso de diseño para modificar la malla y así prevenir este tipo de errores. En las figuras 3a y 3b pueden observarse el interior macizo del modelo a imprimir.

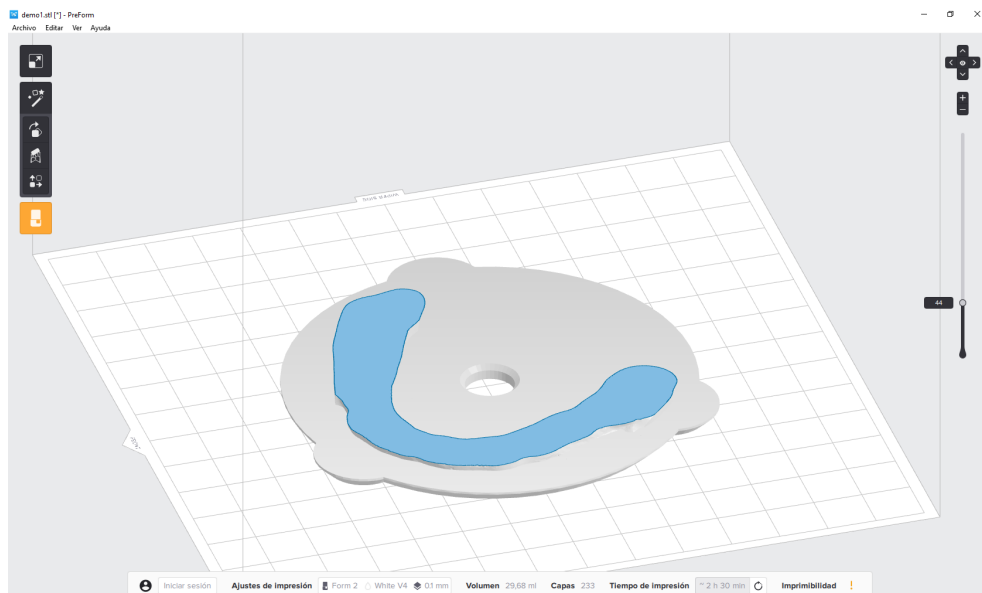


Figura 3a: captura de la sección base del modelo a imprimir en 3D (PreForm)

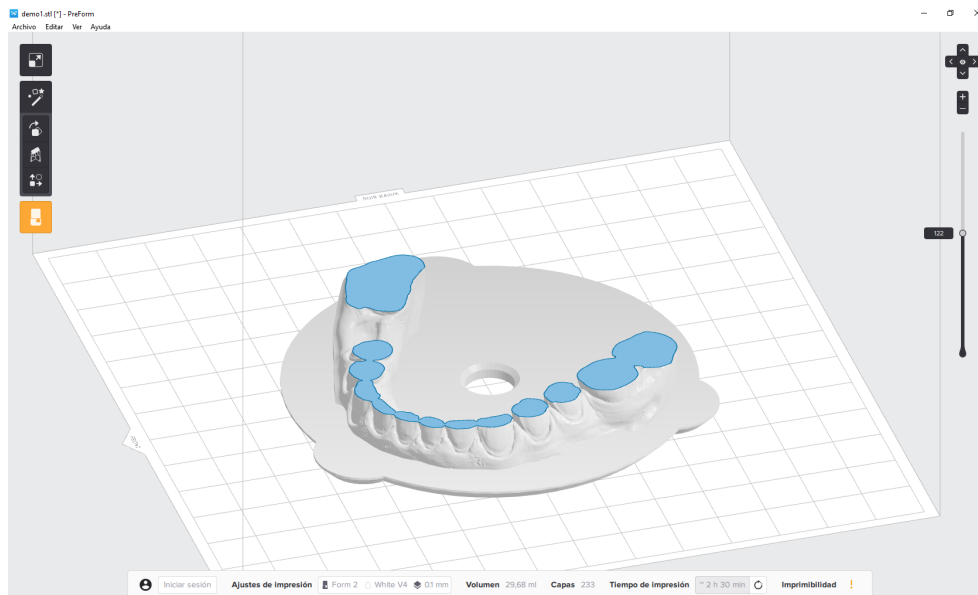


Figura 3b: captura de la sección superior del modelo a imprimir en 3D (PreForm)

Finalmente, podremos encontrarnos con factores físicos que imposibiliten un correcto proceso de fabricación. La totalidad de estos factores están referidos al proceso de impresión debido a la naturaleza de los procesos de fabricación aditiva.

Este proceso en concreto consiste en adherir la una capa de resina a una superficie rugosa, para a partir de ésta, obtener un modelo tridimensional.

La impresora usada en este proyecto utiliza la tecnología de estereolitografía láser o SLA para curar (solidificar) las partículas isotrópicas de una resina líquida fotopolimerizable, es decir, con la luz del láser, las partículas de la resina se endurecen en el proceso de curado.

El modelo tridimensional se divide en capas de forma digital dependiendo del espesor de capa elegido, según el tipo de resina, la Form 2 puede imprimir en capas de 25, 50 y 100 micras; el láser barre la superficie de la capa que se esté imprimiendo en ese momento, de forma que hay multitud de factores que influyen en el acabado final del modelo.

A la hora de imprimir, la impresora cuenta con sensores de temperatura de la resina, un sistema de batido de la misma para garantizar la homogeneidad de la misma y sensores de posición para la superficie en la que se imprime el modelo. Al mismo tiempo, al igual que el resto de tecnologías de impresión, la estereolitografía no evita que entre capa y capa puedan quedar diminutos espacios que afecten a la definición del modelo, esto es especialmente apreciable dependiendo de la orientación del modelo, de forma que si el modelo está orientado de una forma concreta y el salto de capa es grande, por ejemplo 100 micras, puedan ser evidentes a simple vista estas irregularidades que afectan tanto al volumen final de

la pieza como a al acabado superficial. Para prevenir estos efectos, es importante una correcta orientación del modelo en el software de impresión.

1.1.6.3. Impresión del modelo

El proceso de diseño es completamente libre y abierto, de modo que no hay ninguna indicación al respecto salvo las correspondientes al punto 1.1.5.2; el único punto que ha de cumplirse es el de fusionar con el modelo la base diseñada para anclar el modelo al dispositivo, pues es la única forma de asegurar la posición exacta del modelo durante el mecanizado.

La normativa que debe seguirse para la fabricación del modelo mediante impresión 3D es la ya reseñada en el apartado 1.1.4, la norma **UNE-EN ISO 17296:2017** referente al método de fabricación y la norma **UNE-EN ISO/ASTM 52921:2017** referente a la forma de a la terminología al sistema de coordenadas empleado, que en este caso es un sistema de coordenadas cartesianas en los ejes X-Y-Z; esta normativa está cubierta por el fabricante de la impresora 3D, de modo que todo el proceso de fabricación aditiva está de acuerdo a la normativa vigente.

Para mayor facilidad a la hora de imprimir, se recomienda exportar los archivos a imprimir en el formato universal .STL, de forma que el modelo será imprimible desde la práctica totalidad de software de impresión 3D del mercado.

En cuanto a la forma de imprimir el modelo, no hay restricciones, pero sí recomendaciones; al tratarse de una base plana que se apoyará sobre otra cara plana en el dispositivo, lo óptimo sería asegurarse de que la base es perfectamente plana, por lo que lo más recomendable es imprimir el base directamente sobre la superficie de impresión de la impresora.

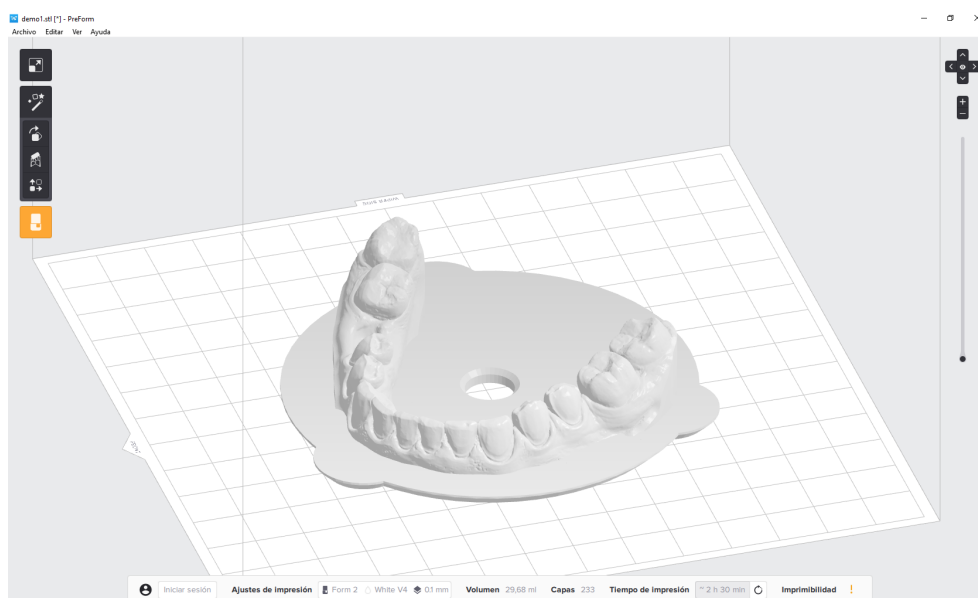


Figura 4: captura del modelo a imprimir en 3D (PreForm)

La posición del modelo que se fusione con la base puede variar según la impresora que se utilice, su tecnología de impresión y la geometría de la pieza, en función de estos parámetros la posición del modelo puede ser paralela a la base o inclinada para garantizar un buen acabado; recordemos que lo más importante de este paso es que el modelo se imprima de forma óptima, es decir, con el mejor acabado superficial posible, de esta manera aseguramos un mejor ajuste en la pieza después del mecanizado.

1.1.6.4.Acabado del modelo impreso

Todos los procesos de fabricación aditiva tienen una etapa final de acabado del modelo, es decir, limpieza, retirada de rebabas, retirada de soportes, fotopolimerizado de la superficie, suavizado superficial, etc.

En este caso estamos en la misma situación y deberemos tomar ciertas acciones para conseguir un buen acabado antes del mecanizado.

En nuestra experiencia, como la impresión se lleva a cabo en una impresora de resina fotopolimerizable, al terminar la impresión es obligatorio limpiar el modelo con isopropanol (IPA) para eliminar el exceso de resina sin curar que se ha adherido a la superficie del modelo impreso; esto es importante porque si no se elimina ese exceso de resina, la superficie queda pegajosa y se adhiere suciedad a la misma y si se expone el modelo a la luz ultravioleta (luz solar por ejemplo) durante un par de horas, esta resina puede curarse y endurecerse sobre el modelo terminado, aumentando el volumen de la pieza afectando negativamente al acabado superficial y al ajuste de la pieza.

Tras limpiar la superficie con IPA, es necesario además llevar a cabo un endurecido superficial, esto se consigue usando una máquina de luz ultravioleta de alta intensidad, lo que fotopolimerizará la resina superficial aún más. Esto aporta rigidez al modelo, lo cual es positivo para soportar los esfuerzos a los que se someterá en el mecanizado. Durante el mecanizado, la fresa arrancará virutas del material impreso, de modo que si no se cura correctamente esa resina pueden surgir problemas durante el mecanizado; estos problemas tendrían su origen en un mal arranque de viruta en el material, pues si es muy blando y tiene cierta fluidez, puede embotar la herramienta con el aumento de temperatura debido al rozamiento de la herramienta, asimismo también influyen los parámetros de mecanizado como la velocidad de avance y de giro de la herramienta, pues puede provocar un arranque excesivo de material, dejando marcas superficiales o incluso podría arrancar trozos o lascas del material.

Como añadido, todo lo comentado en este apartado no es genérico, sino que depende de cada tipo de resina, pues cada una tiene unas características mecánicas, térmicas y químicas que afectarán al proceso de mecanizado. Esto

puede significar que cada tipo de resina necesite diferentes parámetros de mecanizado, lo que obligará a estudiar el comportamiento de cada material en los procesos de mecanizado por arranque de viruta y posteriormente obligará a los fabricantes a ofrecer estos datos a los clientes de forma simplificada para poder trabajar con ellos de forma predecible y segura.

1.1.6.5. Dispositivo de anclaje al soporte de la fresadora

El dispositivo de anclaje diseñado es conceptualmente sencillo, pues a grandes rasgos se trata de dos piezas que sujetan el modelo impreso como si fuera una mordaza, usando el soporte propio de la máquina para la sujeción del conjunto.

El dispositivo, como ya se ha comentado anteriormente, se compone de dos partes, una parte inferior que encaja en el propio soporte de mecanizado de la máquina adaptándose a la forma de éste y con la mínima holgura posible para evitar movimientos imprevistos; sobre esta parte se colocaría el modelo a mecanizar y para evitar que se salga del soporte está la segunda parte del dispositivo, esta segunda parte sirva para sujetar el modelo que debe mecanizarse a la parte inferior, para ello esta pieza presiona la base del modelo impreso, encajando ambas partes en la pieza inferior.

Finalmente el conjunto se atornilla usando los propios tornillos del soporte de mecanizado de la máquina, de esta manera el conjunto de piezas quedan unidas y bien sujetas durante el mecanizado.

1.1.6.6. Calibración del dispositivo

Antes de comenzar a usar el dispositivo, por protocolo deberá hacerse una calibración de la fresadora, de modo que incurramos en un error lo menor posible debido a la fresadora, de esta manera será más sencillo medir la desviación que el dispositivo tiene de la realidad.

Una vez el dispositivo está montado por primera vez en la fresadora y ésta haya sido calibrada, se deberá hacer una tarea de calibración del dispositivo. La calibración consistirá en fresar un modelo impreso en 3D diseñado específicamente para esta tarea.

El modelo a fresar, estará impreso con un factor de ampliación, de modo que sus dimensiones serán mayores a las del modelo digital del software CAM; la calibración consistirá en fresarlo con un acabado ya definido, de modo que si hay una desviación entre el modelo impreso y el modelo digital, será medible.

Esta desviación medida, se aplicará al modelo digital que se utiliza para colocar el modelo en el soporte, de modo que el resto de trabajos queden perfectamente alineados. Para llegar a este punto deberán hacerse varias comprobaciones para

dilucidar si la desviación se produce por una mala alineación de los modelos digitales o bien la desviación se produce al colocar el modelo en el dispositivo. Si las dimensiones del dispositivo están verificadas, se deberá corregir la alineación de los modelos digitales.

En el apartado 1.2.3 de este proyecto se especificará las especificaciones de diseño de los dos modelos necesarios para realizar la calibración del dispositivo.

1.1.6.7.Verificación del ajuste

El proceso desarrollado en este proyecto implica verificar el ajuste de los modelos en diferentes pasos del proceso. Para la verificación de los modelos fabricados se ha seguido la norma **UNE 15450-8:2003**.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario comprobar el ajuste en todas las etapas del proyecto, es decir, en la fabricación y colocación del dispositivo en el soporte de mecanizado, el ajuste del modelo a imprimir, y el ajuste del modelo ya mecanizado.

Para comprobar los ajustes se procederá a comprar el modelo digital con el real mediante el escaneo en 3D del modelo real para posteriormente compararlo con el modelo digital mediante un software de análisis de sólidos.

El primer paso es el diseño del dispositivo, tras esto tenemos un modelo digital del dispositivo, que es lo que queremos fabricar. En principio se va a crear un prototipo impreso en 3D para comprobar su viabilidad y comportamiento, además, si el ajuste es bueno, podría ser válido para pruebas de mecanizado.

Cuando el prototipo del dispositivo está impreso en 3D, se procede a escanear cada parte del dispositivo. En el escaneo se obtiene una malla que forma un modelo digital, en el mismo formato que el modelo original diseñado, así pueden compararse ambos modelos mediante un software de análisis que está incluido en el escáner. La comparación se realiza alineando ambas mallas buscando varios puntos coincidentes de las geometrías, posteriormente, mediante un método iterativo, el software es capaz de alinear ambos volúmenes. De esta manera pueden compararse las distancias entre los puntos de ambas mallas, esto da el ajuste del modelo real impreso del prototipo respecto del modelo diseñado. Posteriormente se montará el dispositivo en el soporte de mecanizado y se verificará el ajuste en el mismo mediante la comparación de un modelo fruto de la alineación digital de las dos partes del modelo con el modelo digital del soporte. El procedimiento es similar en el resto de etapas del proceso.

Una vez impreso el modelo a mecanizar, se procede de la misma manera a escanear el modelo y compararlo con el diseño digital realizado en el software CAD.

De esta manera comprobamos si la impresión se ajusta los valores deseados, recordemos que el láser usado en la impresión tiene un diámetro de 140 micras. En parte, esta diferencia es la que hace que queramos mecanizar modelos impresos en 3D, pues sus ajustes no son tan buenos como los de un mecanizado, al menos en términos generales, pues como es obvio, si comparamos la mejor impresora con la peor fresadora, esta situación no se dará.

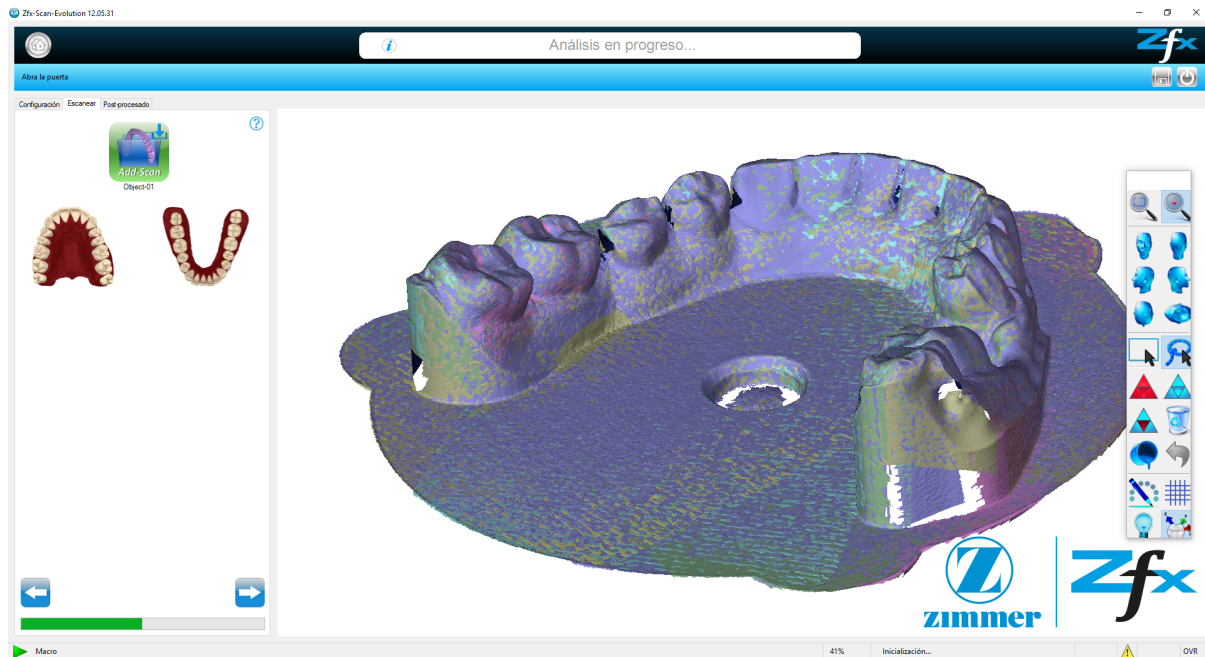


Figura 5: captura del software del escáner 3D durante el escaneado del modelo impreso; la malla es la suma de diferentes mallas escaneadas desde diferentes posiciones (en la figura se diferencian por colores)

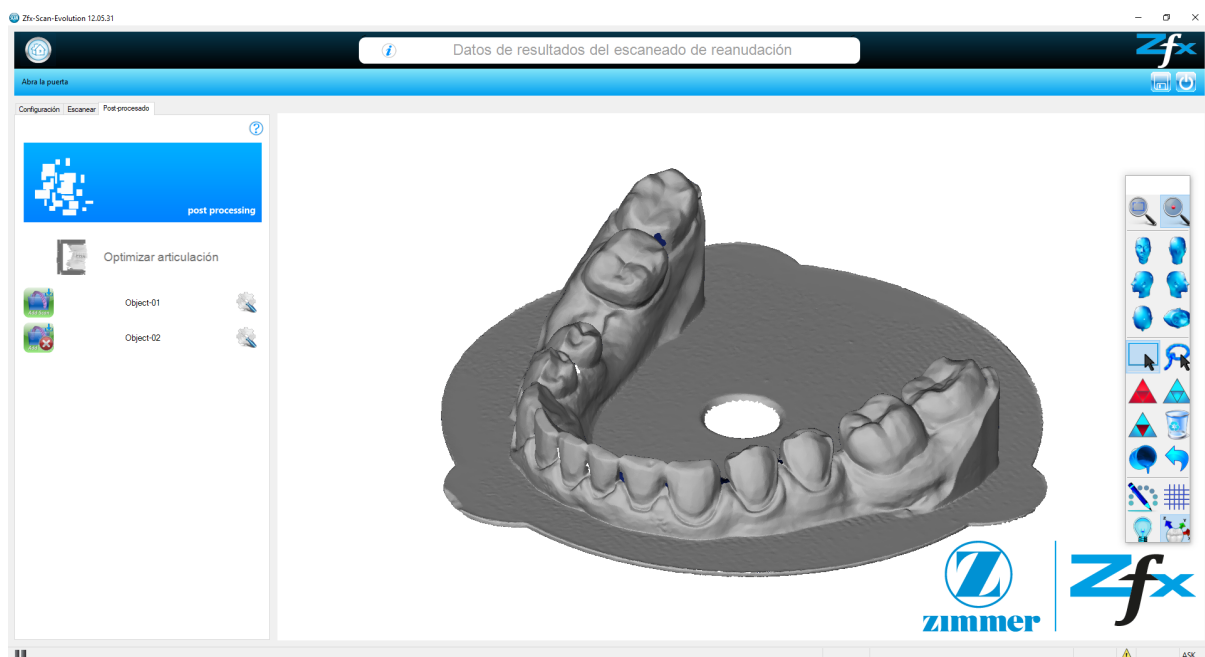


Figura 6: captura del software del escáner 3D con la malla procesada y filtrada

Una vez escaneado el modelo impreso y alineado con su archivo original, pasamos a comparar ambas mallas para comprobar la desviación entre la realidad (modelo impreso) y la idealidad (modelo 3D procedente de CAD):

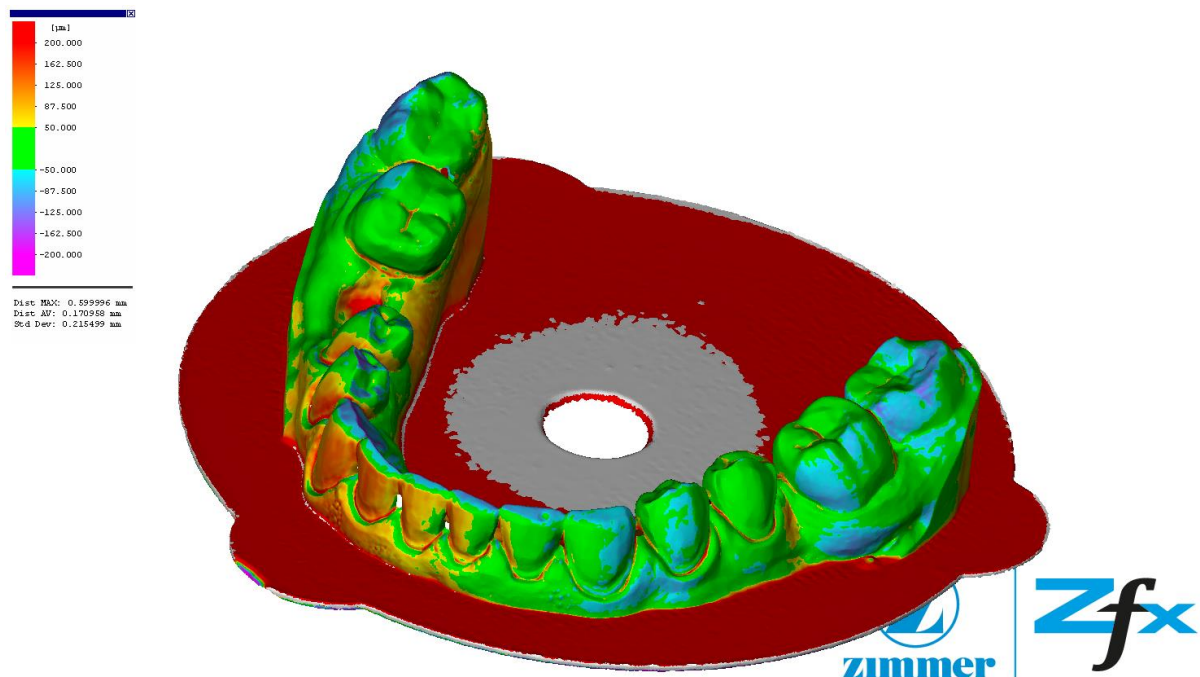


Figura 7: captura del software del escáner 3D con la comparación entre el modelo impreso y el modelo diseñado en CAD; podemos comprobar que hay una desviación de hasta 200 micras dentro del volumen del modelo

Podemos comprobar que hay una desviación media de 170 micras en algunas zonas del modelo, lo que dará problemas a la hora de mecanizarlo, pues su posición en el CAM será diferente a la real. En la mayoría de partes de interés del modelo, la caras vestibulares de los dientes anteriores, el ajuste es casi perfecto, lo que quiere decir que tenemos que ajustar mejor la impresión.

Podemos asumir que parte de la desviación procede de la forma en la que el software del escáner alinea las mallas, y es que usa el volumen de la malla, lo que quiere decir que si los volúmenes son diferentes, esto interfiere en la alineación, aunque al mismo tiempo, debemos mantener la mayor parte del modelo que coincida con el modelo diseñado.

Posteriormente se comprueba el ajuste de las piezas que componen el dispositivo, ambos anillos serán montados y escaneados.

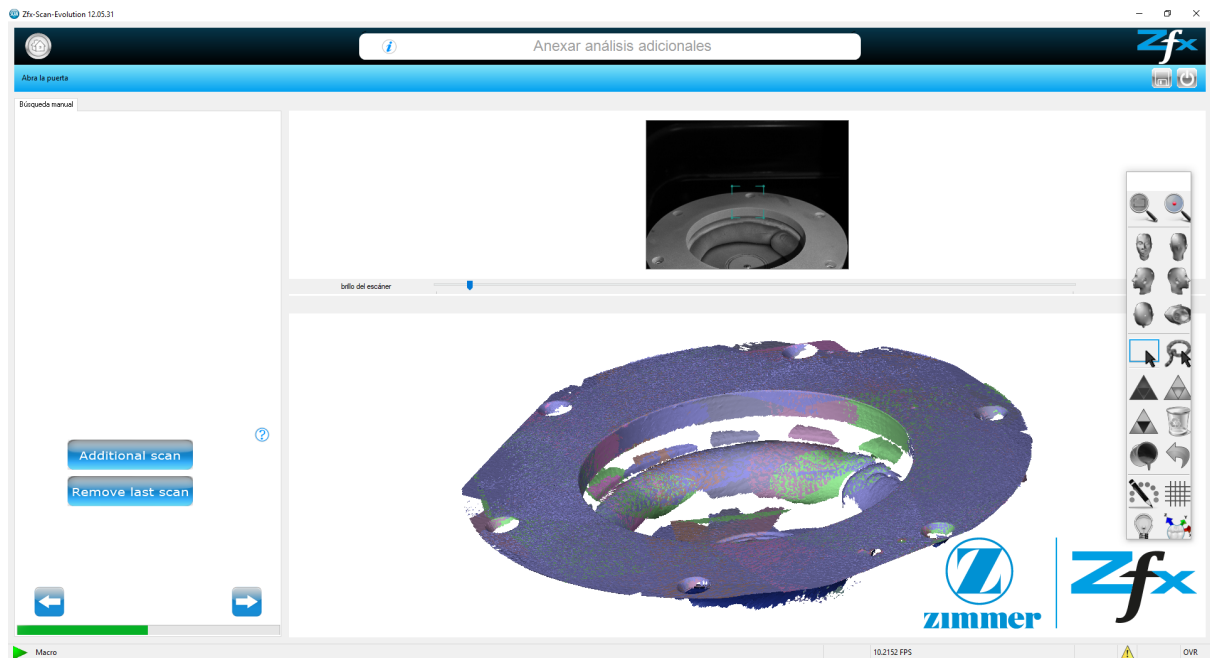


Figura 8: captura del software del escáner 3D durante el escaneado del prototipo del dispositivo

Una vez escaneado el prototipo del dispositivo se procede a procesar la malla y a eliminar todas las partes de la malla que no son útiles para alinear ambos modelos.

La malla procesada y filtrada se alinea con el modelo diseñado en 3D y en el software del escáner se comparan ambas mallas para comprobar las diferencias entre ellas.

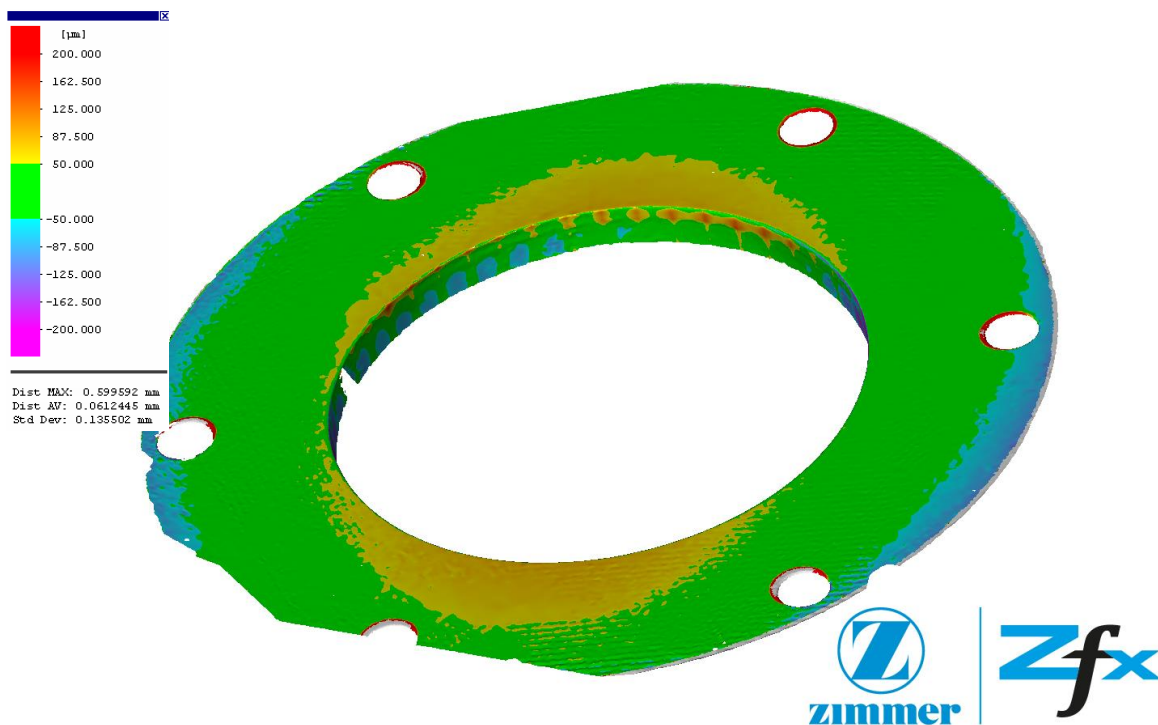


Figura 9: comparación del ajuste entre el prototipo impreso y el modelo diseñado para la impresión del dispositivo; obsérvese que la desviación media es de 61 micras

Al comparar la malla con su archivo de origen, en la figura 9, hay una desviación que puede llegar a 0,1 mm en los extremos, sin embargo, en las zonas de interés, que al mismo tiempo son las más rígidas y espesas, queden con una desviación inferior a las 50 micras, lo que supone un ajuste muy bueno.

Se ha medido el espesor de la parte que presiona la base y encaja en el anillo inferior con la altura de la pared del agujero donde encaja la base y el anillo superior y se ha comprobado que son de la misma dimensión, lo que quiere decir que el anillo superior está deformado.

En todas las pruebas que se han hecho de los modelos impresos en 3D nos encontramos con el mismo problema, al escanear los prototipos del dispositivo, todos están curvados hacia abajo en los extremos. Tras analizar los pasos seguidos, podemos verificar que el modelo se deforma por dos factores, el primero es la deformación por temperatura durante el post-curado de la resina en una máquina fotopolimerizadora; las lámparas de luz ultravioleta (UV) tienen demasiada potencia y durante el curado final deforman el modelo debido a la forma que tiene tanto la pieza impresa como la base de la máquina, pues de ambas maneras el modelo tiene o los extremos o el centro el voladizo, lo que hace que se doble durante el curado de la resina; el segundo factor es la deformación mecánica debida a las pruebas, el hecho de colocar y sacar de su sitio las diferentes partes impresas hacen que se deformen de los esfuerzos a los que se ven sometidas, estos esfuerzos vienen derivados de una mala fabricación, pues parece que la impresora deja ciertas partes con un tamaño algo mayor al especificado, lo que hace que las piezas entren en su alojamiento muy prietas o incluso no puedan entrar, y para continuar con las pruebas se deba de repasar con lija o incluso con fresa manual para hacer que las piezas encajen en su posición.

Estos resultados no son definitivos, pues habría que cambiar de material de impresión para conseguir un modelo más rígido y que por lo tanto se deforme menos, lo que facilitará la realización de las pruebas de mecanizado.

Una vez tengamos imprimido y verificado el ajuste del modelo, se procede a su montaje en el dispositivo, para posteriormente analizar el ajuste por comparación entre el montaje real y el modelo fruto de la alineación digital del modelo con el dispositivo.

Para finalizar las pruebas, se comprobará el ajuste de todo el conjunto (dispositivo+modelo) montado sobre el soporte de la máquina, de esta manera se compara el montaje real que deberá hacerse antes de mecanizar, con el modelo digital en el que se han alineado todas las partes del proceso, es decir, las dos partes del dispositivo, el modelo a mecanizar y el soporte de mecanizado.

Tras la fabricación del primer prototipo, hemos procedido a su verificación, para ello hemos sujetado la base del modelo con las dos piezas del dispositivo encajadas y hemos escaneado en 3D el montaje.

Hemos comprobado las medidas del soporte con los planos desarrollados en este proyecto y podemos afirmar que las medidas son correctas, lo que indica a priori que si el dispositivo se fabricara en metal, las dimensiones serían correctas y la desviación entre la pieza fabricada y el modelo 3D de origen serían casi nulas.

1.1.6.8.Estrategias de mecanizado

Para llevar a cabo las tareas de mecanizado debemos preparar los modelos para la impresión y su posterior mecanizado. Una vez impresos, se verifica el ajuste tal y como se ha descrito en el apartado anterior y una vez verificado que está dentro de los márgenes predefinidos para ese trabajo, comienza la fase de mecanizado.

El primer paso en esta fase es la importación del modelo diseñado en CAD (Catia), el mismo modelo que se ha utilizado para la impresión 3D. Este modelo con el soporte de la máquina se guarda y se exporta en el CAD (exocad) con las coordenadas que definen la posición dentro de la máquina. El software de impresión no necesita esas coordenadas, pero es esencial que el modelo se diseñe en esas coordenadas.

Para conseguir que el modelo quede en esas coordenadas, se deben llevar a cabo ciertos pasos dentro del entorno CAM (SUM3D), para obtener un modelo base sobre el que diseñar todos los trabajos siguientes. La base se ha diseñado en unas coordenadas aleatorias o bien definidas por defecto dentro del software CAD con el que se ha diseñado el dispositivo. Este modelo inicial se importa en el software CAM; en él se alinea este modelo con el soporte, pues contamos con el archivo, una vez alineada la base dentro del articulador tenemos la base en la posición exacta de la base, el siguiente paso es exportar la base en las nuevas coordenadas, que serán a partir las mismas para todos los modelos que se diseñen.

Este nuevo archivo es el que se usará en el CAD (exocad) para generar todos los modelos que se diseñen para imprimir y fresar. Los modelos se generan fusionando las mallas de la base con la de un trabajo a imprimir, dejando el modelo macizo para resistir mejor los esfuerzos de flexión.

Una vez el modelo está impreso, curado y limpio, se importa el archivo diseñado en exocad a SUM3D, el cual estará en su posición correcta. La posición del modelo debe ser arbitraria, no aleatoria, pues no todos los ejes de la máquina tienen el mismo ángulo límite, y por lo tanto debe aprovecharse esta situación; lo recomendable en un caso de arco completo, es colocar los dientes centrales de forma que al situar el modelo en el soporte queden en una vista frontal al operador

de la máquina, más concretamente en el caso de la fresadora imes-core 350i, en la posición de carga, los centrales deben estar mirando hacia arriba, en su posición mas elevada.

Una vez colocado el modelo en el CAM y en la máquina, pasaremos a calcular la estrategia de mecanizado, la cual variará según el tipo de trabajo.

El caso más simple de trabajo es el de imprimir un modelo para prueba en boca y fresarlo por completo para obtener un mejor ajuste. En ese caso, debe delimitarse en el CAM el área de trabajo y utilizar las estrategias de acabado con fresa de 1 mm y 0,6 mm, de modo que el modelo tendrá en esas zonas de interés un acabado superior.

Existen trabajos de carillas que necesitan crear modelos para comprobar que se ajustarán bien a la anatomía del paciente, donde las carillas ya fresadas deberán retocarse manualmente y ser probadas sobre el modelo, de modo que cuanto más ajuste tengan las carillas en el modelo, mejor ajuste tendrán en la boca del paciente, pues el modelo impreso proviene directamente de una impresión o incluso de un escáner intraoral. Estos trabajos consistirán en fresar únicamente las zonas donde encajan las carillas, de modo que se procederá a delimitar las zonas de trabajo de cada carilla de forma individual y posteriormente se utilizarán estrategias de acabado con fresas de 1mm y 0,6mm. Dentro de este tipo de trabajos se engloban otros donde se necesite fresar ciertas zonas de interés de un modelo.

Los trabajos más exigentes dentro de este proyecto es el de fresar el alojamiento de un implante o de un pilar de implante. Estos trabajos requieren de fresar taladros en un eje con una posición e inclinación muy concretas, lo que obligará a crear modelos muy exactos, cuya etapa de verificación admita muy poca desviación. Al mismo tiempo este tipo de trabajo incluye fresar geometrías con caras planas y ángulos vivos, los cuales son extremadamente complicados debido a que las fresas son circulares y se necesitan radios muy pequeños en herramientas de punta plana.

El paso siguiente a este proyecto y que aún no se ha planificado, se corresponde con trabajos donde se pretenda fresar objetos sobre modelos impresos en 3D usando una metodología similar, pero esto es objeto de un proyecto futuro, ya que la complejidad de esta operación es muy elevada y requiere de multitud de pruebas, además de tener más que controlado el procedimiento que se describe en este proyecto.

1.1.6.9.Mantenimiento del dispositivo de anclaje

El dispositivo de anclaje será fabricado en el mismo material que el soporte de la máquina, de modo que el mantenimiento que debe tener será mínimo.

El mantenimiento del dispositivo se limitará a lavarlo después de cada uso en caso de haberse utilizado líquido refrigerante para el mecanizado, pues una larga exposición a este líquido causa manchas superficiales de corrosión; por otro lado se inspeccionará visualmente si ha sufrido caídas o colisiones dentro de la máquina, si durante un mecanizado el dispositivo ha colisionado con la herramienta y ésta ha causado daños muy evidentes al soporte, éste deberá ser cambiado; esta situación se dará con muy poca frecuencia, pues normalmente la herramienta se romperá con el primer contacto con el soporte, de modo que el soporte sólo sufrirá arañazos superficiales.

Como medida extra, deberá prestarse atención a los tornillos y a su apriete; estos tornillos serán de métrica 4 mm (M4) y tendrán la cabeza avellanada para no sobresalir de la superficie de la parte superior del dispositivo, la cabeza de estos tornillos usa una llave hexagonal (Allen) de medida 2,5 mm, debido al pequeño tamaño de la llave, el apriete debe ser moderado, según la norma DIN ISO 272, para tornillos de métrica M4 y calidad 8.8, el par de apriete es de 3 Nm; es importante no exceder este valor porque si el apriete es excesivo los tornillos pueden quedar bloqueados y al extraerlos con la llave, la cabeza puede abocardarse y para su extracción será necesario modificar la cabeza del tornillo para extraerlo con otro tipo de destornillador o incluso será necesario destruirlo.

1.2.Memoria justificativa

En este apartado se expondrá con detalle el diseño del dispositivo y las razones que han llevado a ese diseño final, también se explicará el diseño de la base de impresión, que es quizá el elemento más importante y finalmente se explicará el diseño de las estrategias de mecanizado que se utilizarán.

Los equipos utilizados para el desarrollo de este proyecto han sido:

- Escaner 3D: Zfx Evolution (ZFX03001198)
- Software de diseño CAD: exocad, Catia V5 y Solidworks
- Software de fabricación CAM: SUM3D y PreForm
- Impresora 3D: Form 2 (by Formlabs)
- Fresadoras CNC: imes-icore 350i y 250i

1.2.1.Diseño del dispositivo

Para el diseño del dispositivo se han seguido cumplir con unos requisitos muy concretos siguiendo con las indicaciones de la norma **UNE 15209:1991** sobre elementos modulares para máquinas-herramienta.

El primero de ellos es el de hacer que el dispositivo se adapte a la máquina y no al contrario. En el sector de la fabricación de las prótesis dentales utiliza de forma mayoritaria un formato de materia prima muy concreto.

En cuanto a materiales, son muy variados, van desde los materiales plásticos como el PMMA o el PEEK, pasando por ceras calcinables, circonio presinterizado, materiales cerámicos como el disilicato de litio, materiales compuestos como la fibra de vidrio, mezclas de cerámica y polímero, y aleaciones metálicas como el CrCo e incluso titanio de grados 2 y 5.

Todos estos materiales toman formas estandarizadas para su uso en máquina, pues en el uso del software CAM, es imprescindible controlar el tamaño de todos los elementos que intervienen en el mecanizado, y como no podría ser menos, el material que debe mecanizarse es el más importante, ya que en caso de tener una forma diferente a la planteada en la planificación del mecanizado, es casi seguro que habrá una colisión de la máquina, con catastróficas consecuencias para el mecanizado.

Por norma general, las formas que adoptan estos materiales son dos; una de ellas es la de bloques de pequeño tamaño donde poder fresar pequeñas rehabilitaciones, y un formato mucho mayor en forma de disco con un diámetro de 98,5 mm. Existen otras formas predefinidas, pero son menos habituales, como formatos de pilares prefabricados a los que solo hay que mecanizar un par de parámetros muy restringidos.

Tanto los discos como los bloques tienen una forma común entre ellos, pero evidentemente hay ligeras variaciones en otras partes de la forma como puede ser un diferente tipo de soporte, formas que bloquean el movimiento y la posición dentro del soporte o formas que están hechas pensando en el tipo de trabajo a realizar.

En nuestro caso, hemos querido hacer el dispositivo lo más universal posible, para ello nos hemos fijado en el formato de disco de 98,5 mm de diámetro, esto nos da nuestro primer y más importante parámetro de diseño; el dispositivo debe encajar en un alojamiento de 98,5 mm de diámetro. Las máquinas con las que se han hecho las pruebas son con las fresadoras CNC de imes-icore, concretamente los modelos 350i y 250i. Ambas tienen el mismo tipo de soporte; son soporte para discos de 98,5 mm, y éstos se sujetan al soporte con un anillo que los presiona usando seis tornillos, de forma que el dispositivo debe utilizar el mismo método para sujetar el modelo impreso a mecanizar.

Inspirándonos en el diseño del soporte, y sabiendo que será necesario bloquear la posición del modelo en el soporte, se decidió por utilizar lóbulos en el diseño del

dispositivo, esos detalles pueden apreciarse en la figura 12, más adelante podrá compararse con el diseño final del dispositivo.



Figura 10: diseño del soporte de fresado de la máquina

Una parte importante del diseño es que el modelo debe ser colocado en el soporte en la posición exacta que muestra el software CAM, para ello es necesario que el modelo quede insertado en el dispositivo bloqueando el giro y su movimiento vertical.

Los lóbulos deben ser de un tamaño tal que permitan una fácil inserción del modelo sin comprometer la resistencia de estos apéndices, deben aportar una superficie de agarre suficiente para sujetar el modelo sin crear grandes tensiones en ciertas partes del modelo y evitando la flexión del mismo durante el mecanizado; esto último es muy importante, ya que la herramienta aplica una fuerza sobre el modelo, de forma que este debe ser lo suficientemente rígido para que junto con la sujeción del dispositivo, el modelo no ceda ante las fuerzas del mecanizado.

Se colocarán tres lóbulos distribuido de forma uniforme alrededor de la base, separando los ejes de éstos 120° entre ellos; esta distribución hace que el modelo sea colocado en tres posiciones diferentes, pero en todas ellas alejadas de los puntos de presión de los tornillos, lo que hace que las fuerzas se distribuyan mejor por el modelo y evite su rotura por exceso de apriete de los tornillos.

Aunque este diseño permite que el usuario coloque el modelo de forma incorrecta, este riesgo es insalvable, pues el dispositivo debe colocarse usando los tornillos del soporte y estos están también uniformemente distribuidos, concretamente a 60°

entre ellos. De esta manera, la única forma de evitar colocar el modelo en una posición inadecuada es colocar el modelo en la misma posición en la que se ha importado en el software CAM, obligando de esta manera a revisar su colocación tras hacer el cálculo; esto se traduce en que el usuario debe inicialmente calcular el mecanizado y luego a colocar el modelo en el dispositivo. Esta posibilidad no afecta al acabado, pues la máquina tiene el mismo margen de giro en el mecanizado alrededor del modelo.

Usando el soporte como guía, se toman las medidas pertinentes del mismo y posteriormente se adapta el dispositivo a esta forma, de modo que aunque el hueco sea de 98,5 mm, en la parte superior el diámetro aumenta para adaptarse a la forma del soporte y al mismo tiempo permitir el uso de los tornillos del soporte.

Llegados a este punto, el dispositivo estará compuesto por dos partes; una parte superior y otra inferior. La parte inferior encajará en el soporte como un disco de 98,5 mm, apoyándose por los extremos en el propio soporte, en esta pieza se hará el hueco para alojar la base del modelo impreso, de modo que se facilite su inserción y extracción. La pieza inferior que es la soporta el modelo debe tener una pieza superior que mantenga a ambas sujetas al soporte.

Esta pieza puede describirse como un disco que se apoya en el soporte y que tiene una geometría que sobresale del mismo y con la forma de la base del modelo impreso.

De esta forma, la parte superior encaja perfectamente en el hueco del modelo hecho en la pieza inferior, presionando ligeramente el modelo para impedir su movimiento vertical, ya que la forma de la pieza inferior evita el giro del modelo. La pieza encaja perfectamente en el soporte, y al igual que la pieza inferior, contará con unos taladros para el uso de los tornillos del soporte, que será lo que definitivamente agarre todo el conjunto al soporte y por ende, a la máquina.

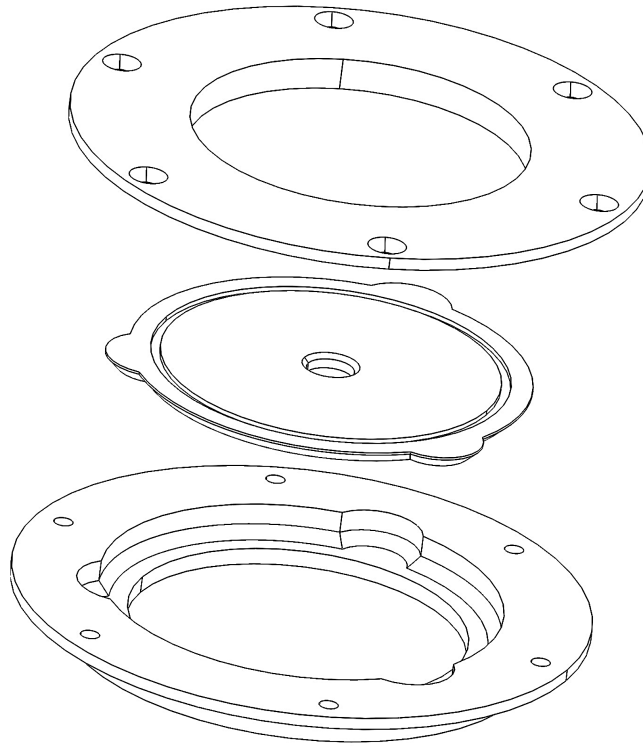


Figura 13: montaje de la base en el dispositivo

El conjunto se ordena de la siguiente manera, la parte inferior del dispositivo encaja en el soporte de mecanizado, en la parte inferior se inserta el modelo impreso que ha de mecanizarse, y sobre ambos reposa la parte superior del dispositivo, quedando todas las partes unidas al soporte a través de los tornillos.

Los tornillos deben ser de métrica 4, pero se hará una variación sobre los originales, éstos serán de cabeza avellanada, de forma que al apretarlos, la parte superior de la cabeza quede a ras de la superficie de la parte superior del dispositivo. Al igual que ya se usan en otros accesorios de la marca, estos tornillos serán de tipo Allen de medida 2,5 mm.

En cuanto al material, se necesita un material rígido, que soporte largos ciclos de fatiga debido a vibraciones y que tenga una alta resistencia a la corrosión al exponerlo al líquido refrigerante. Este líquido es una mezcla de agua destilada con una concentración del 8% de un aceite mineral de mecanizado; concretamente el aceite usando durante la realización del proyecto es el lubricante Swissgrind Zoom Aqua, del fabricante suizo Motorex.

Este aceite lubricante está diseñado para mezclarse con agua destilada para su posterior uso en máquina de mecanizado, concretamente para operaciones de *grinding*, pero también es compatible con un fresado tradicional. Está formado por un compuesto químico cuya fórmula química es $C_8H_{12}INO_2$ y se le conoce como *yodopropinil butilcarbamato*.

Para más información, se adjunta en el Anexo III la hoja de datos de este lubricante con toda la información referente a su uso, seguridad e impacto ambiental.

Para el uso de lubricante durante el fresado no es necesario utilizar concretamente este lubricante, también puede usarse otro con las mismas características y que esté indicado para su uso en trabajos de mecanizado.

Siguiendo el ejemplo de otros accesorios de la marca, y a sabiendas de que con seguridad el material cumple los requisitos, el material usado será un metal, concretamente un acero inoxidable. Basamos nuestra elección en los accesorios de máquinas ya construidas, sin embargo usaremos el software de selección de materiales CES Edupack para confirmar que es el material correcto o en caso de ser una aleación no estandarizada, obtener una alternativa estandarizada que se ajuste a los requisitos.

Como es comprensible, no podemos conocer la aleación exacta que usa el fabricante a partir de la documentación que facilita o mediante una consulta al servicio técnico, debido a que esa información es secreto industrial. Sin embargo, podemos someter las piezas de las que disponemos a un análisis propio de la ingeniería inversa para obtener la aleación exacta para nuestro dispositivo, para ello usaremos la técnica de análisis por fluorescencia por rayos X (FRX), de modo que podemos obtener una composición bastante exacta de la pieza y elegir a partir de los resultados una aleación que cumpla con los requisitos.

En el Anexo I está recogido el proceso de selección del material definitivo, el análisis FRX se aplicará al soporte de la máquina y a sus accesorios; ambos materiales a simple vista son diferentes, pero cumplen con los requisitos de uso del dispositivo, por lo que analizaremos ambas piezas y luego determinaremos un material definitivo.

Los resultados del análisis FRX del soporte indican que es un tipo de aleación de aluminio típica para procesos de moldeo, tiene una baja cantidad de aluminio (56%) y muy alto contenido en silicio (24%), además de otros componentes como el zinc y el cobre, que facilita el endurecimiento por envejecimiento.

El análisis FRX de los accesorios indica claramente que se trata de un acero inoxidable, por ser una aleación de acero con un alto contenido en cromo (22%) níquel (7%) y cobalto (1,8%), esta composición se corresponde completamente con la aleación normalizada del acero inoxidable AISI 304

Finalmente elegiremos esta aleación debido a que es normalizada y a que su precio es mas asequible (2,14-2,58 €/kg) para este uso que la aleación de aluminio especial para fundición, al mismo tiempo cumple con los requisitos de resistencia a

lubricantes, es de los más asequibles y tiene una gran mecanizabilidad; eso deja claro por qué es una aleación muy usada en la construcción de máquinas CNC.

El resto de detalles del diseño podrán observarse en el documento de Planos de este proyecto.

1.2.2.Diseño de la base de impresión

La base de impresión, como es obvio será del mismo material que el modelo a mecanizar, es decir, de resina fotopolimerizada; esta resina tiene unas propiedades mecánicas bastante limitadas, lo que obliga a diseñar una base que sea capaz de soportar los esfuerzos que la herramienta aplica sobre el modelo durante el mecanizado.

Al mismo tiempo, al tener que imprimirse, la base debe tener ciertos elementos y una forma que no genere problemas de impresión, es decir, su forma debe ser sencilla, perfectamente plana para apoyarse correctamente en el dispositivo y debe facilitar la retirada de la superficie de impresión de la impresora.

La forma principal, evidentemente debe ser la del hueco hecho en el dispositivo, de forma que la base quede retenida por esa geometría, de modo que la holgura debe ser mínima, lo justo para colocar y extraer, pero sin que pueda moverse en el soporte sin cerrar.

Para facilitar su retirada de la impresora nos hemos inspirado en la forma de las bases de impresión que usa el software de la impresora; estas bases cuentan con un chaflán que permite introducir una herramienta específica para hacer palanca y separar el modelo de la superficie de impresión. Sin embargo, estas bases tienen forma de recipiente para minimizar el uso de resina, pero esto deja una base con un espesor insuficiente para el mecanizado, de forma que se ha decidido hacerla maciza, con un espesor de 3 mm y un chaflán alrededor de la base con un ángulo de 45°, esto además aumenta la superficie de contacto entre la base del modelo y el dispositivo, lo que mejorará el agarre y el ajuste.

En la base no podrán colocarse modelos de cualquier tamaño, ya que si sobrepasa los 70,5 mm de diámetro interior del anillo superior del dispositivo, esta pieza no podrá cerrar sobre el resto del conjunto. Para favorecer la colocación de los modelos en la base y poder saber si el modelo es válido y no sobrepasa ese tamaño, se ha creado una hendidura sobre la base de 1 mm de profundidad para indicar el diámetro máximo que puede tener el modelo a fresar.

En previsión de posibles problemas de temperatura a la hora de mecanizar el modelo, que obligaría a utilizar líquido refrigerante, se ha diseñado un orificio en el centro de la base a modo de desagüe para el refrigerante. Este tipo de elementos

podrían ser opcionales dependiendo del espacio necesario en la base o según la necesidad de usar refrigerante para mecanizar el modelo.

Al igual que con el diseño del dispositivo, el resto de detalles podrán observarse en el documento de Planos de este proyecto.

1.2.3.Diseño de los modelos de calibración

Como se ha expuesto en el apartado 1.1.6.6 para realizar la calibración vamos a utilizar dos modelos claramente diferenciados, uno de ellos se utilizará para imprimir y fresar y el otro para colocar en el CAM.

Para ello desarrollaremos dos modelos diferentes para la calibración. Uno de ellos tendrá unas dimensiones mayores que el otro y deberán ser claramente diferenciados.

El modelo para fresar tendrá unas dimensiones mayores que el modelo digital del software CAM, de modo que al tener unas dimensiones menores fresará el modelo impreso a la medida del modelo digital, de esta manera, se podrá medir el modelo fresado y podrá compararse con las dimensiones del modelo digital, las cuales serán conocidas.

El modelo de calibración deberá contar con ciertos elementos que evidencien las posibles desviaciones con el movimiento de la fresadora. Estos elementos cuentan con geometrías muy básicas, por ejemplo, un cubo con socavado interno, una escalera o caras anguladas.

La sobredimensión del modelo a fresar será de 1 mm, de modo que la medida entre caras del socavado interno del cubo será de 1 mm menos que en el software CAM, la escalera tendrá escalones 1 mm más altos y las caras se extenderán 1 mm más hacia el exterior que el modelo digital.

Todos los detalles de estos dos modelos serán plasmados en el documento de planos del proyecto.

Una vez comprobada la efectividad de este método de calibración, se guardará la estrategia de mecanizado de calibración y el modelo para imprimir para su posterior utilización sin necesidad de realizar más cálculos de estrategias de mecanizado del modelo de calibración, convirtiéndolo en estándar.

1.2.4.Diseño de la estrategia de mecanizado

1.2.4.1.Fresado del modelo de calibración

La estrategia de mecanizado es única y sólo deberá calcularse una vez cuando hayamos corregido todas las posibles desviaciones del modelo con la realidad, de forma que a partir de este cálculo, puedan realizarse las posteriores calibraciones.

Todos los modelos que se mecanicen usando estas estrategias tienen algo en común, y es que se fresarán solo por la cara superior del modelo, pues la otra cara es plana y es la que se apoya en dispositivo. La cara superior se la nombra como “lado 0”, mientras que la cara inferior es el “lado 180”. Las estrategias debe irán modificarse de forma que la herramienta solo frese el “lado 0” del modelo, es decir, la cara superior.

Para realizar este mecanizado se delimita manualmente una área de mecanizado con la herramienta “Definir área de mecanizado especial”, de manera que deberemos dibujar una curva cerrada que delimite la zona a mecanizar; ésta deberá ser lo más ajustada posible al modelo, de forma que se optimice el uso de la herramienta y el tiempo de mecanizado.

Para realizar este mecanizado utilizaremos una estrategia de acabado, la cual habrá que modificar ligeramente para optimizar el tiempo de mecanizado.

Deberemos indicar en la estrategia que el área de mecanizado es la delimitada por la curva antes dibujada, la orientación del cabezal será la definida por defecto, que es la perpendicular al plano de mecanizado, en caso contrario deberemos modificarla para que la herramienta frese el modelo perpendicular a la cara plana superior.

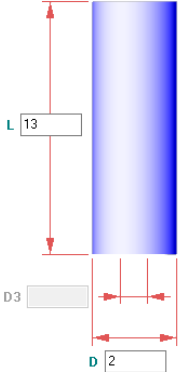
Asimismo deberemos indicar los parámetros de la herramienta que será de punta plana tendrá 2 mm de diámetro, de esta forma no quedarán surcos sobre el modelo fresado, al mismo tiempo deberemos marcar un *offset* de 0, es decir, el sobremetal debe ser nulo, de forma que cuando el CAM identifique la forma del modelo a mecanizar, haga que la herramienta baje hasta la cota exacta donde se fresa el modelo.

El tipo de mecanizado a utilizar será el de CONTORNEADO XY, el cual es perfecto para formas con ángulos vivos y geometrías planas. La figura 14a muestra los parámetros de herramienta y las siguientes muestran los parámetros de mecanizado:

Modificar herramienta

Máquina: 350i Tipo herramienta: Cilíndrica plana

Cilíndrica plana



Parámetro	Valor
Número de herramienta	7
Descripción	Fresa china 2 mm Flat/D2F-p
Rotación	Horaria
Rotación (r.p.m.)	30000
Avance XY	1500
Avance Z	1500
Feedrate XY full material	
Avance sin arranque de material	
Feedrate para pequeño radio	
Feedrate para esquina	
Tool life	
Refrigerante	M8 M9
Corrector de longitud	
Corrector de radio	
Número de dientes	
Ángulo de entrada en Z	15
Arranque máximo en XY	50
Arranque máximo en Z	0.08
Descarga en la parte inferior	No
Diám. cabezal para verif. long.	
Grupo de componentes	PlanaMetal2mm

Figura 14a: parámetros de herramienta

A continuación se muestran capturas de la estrategia de mecanizado:

Parámetros generales del mecanizado

Sobremetal : 0

Valor de reducción de las superficies : 0

Precisión del mecanizado : Súper acabado

Distancia mínima entre puntos : 0

Distancia de aproximación en Z : 2

Cota Z de retirada (absoluta) :

Identificación del modelo bruto : No

Coja para arriba del modelo mecanizado : ☐ Sí ☒ NO

Supervisión de la herramienta : Elevación del trayecto de colisión

Simetría en el eje X : ☐ Sí ☒ NO

Simetría en el eje Y : ☐ Sí ☒ NO

Simetría en el eje Z : ☐ Sí ☒ NO

Figura 14b: parámetros generales de mecanizado; obsérvese el sobremetal a 0 y una precisión de súper-acabado

Parámetros para el Contorneado en XY o para el Vaciado

Valor de incremento en Z	: 0	...
Pasadas en correspondencia con los planos	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO	
Tipo de retirada en Z	: Z mínima posible	
Diámetro de la última herramienta	: 0	
Redondeado de esquinas internas	: <input checked="" type="radio"/> SÍ <input type="radio"/> NO	
Radio para redondear las aristas internas	: 0	
Tipo de optimización	: Optimización del número de reposicionamientos	
Tipo de mecanizado	: Bidireccional	
Remecanizado por sobremetal constante	: En ZIG ZAG pero sin mecanizar los planos	
Ángulo máximo de bajada	: 0	
Uso de los puntos de inicio	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO	...
Compensación del radio de la herramienta	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO	
Habilitación del mecanizado con ángulos negativos	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO	
Reducción del avance en ángulos vivos	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO	
Secuencia optimizada por zonas	: <input checked="" type="radio"/> SÍ <input type="radio"/> NO	

OK Salir

Figura 14c: parámetros de contorneado XY; obsérvese que el remecanizado por sobremetal constante está configurado para no fresar en zig-zag los planos verticales del modelo

Parámetros para el Contorneado XY

Contorneado de desbaste	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Mecaniza de abajo hacia arriba	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Eliminar los recorridos sobre los bordes de las superficies seleccionadas	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Vertical zones detection	: NO
Sentido de aproximación (ángulo)	: AUTO
Radio de aproximación	: 0
Distancia de aproximación	: 0
Number of parallel XY passes	: 0
Increment between the parallel XY passes	: 0
Curva para el cálculo de los incrementos en Z	: ...

OK Salir

Parámetros del remecanizado en Zig-Zag

Ángulo de las pasadas de remecanizado en Zig-Zag	: 0
Incremento entre las pasadas de remecanizado en Zig-Zag	: .05
Cancelación de las partes sobrepuestas	: <input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Desplazamiento del eje Z en las partes sobrepuestas	: .05

OK Salir

Figura 14d: resto de parámetros de mecanizado del contorneado XY y los parámetros del remecanizado

En la siguiente figura se observa las curvas de mecanizado especial que delimita las zonas a mecanizar.

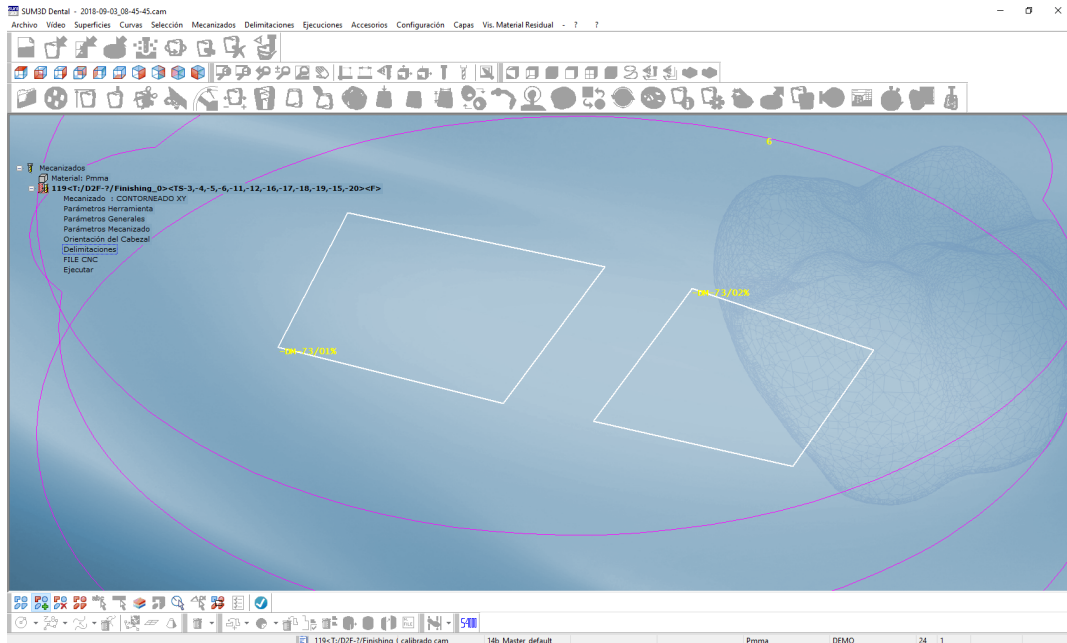


Figura 15: curvas de delimitación de zonas de mecanizado especial

Tras modificar los parámetros del mecanizado y seleccionar la zona de mecanizado, procedemos al cálculo del mecanizado y su posterior simulación en el software CAM, en las siguientes figuras se ve el resultado de estos cálculos:

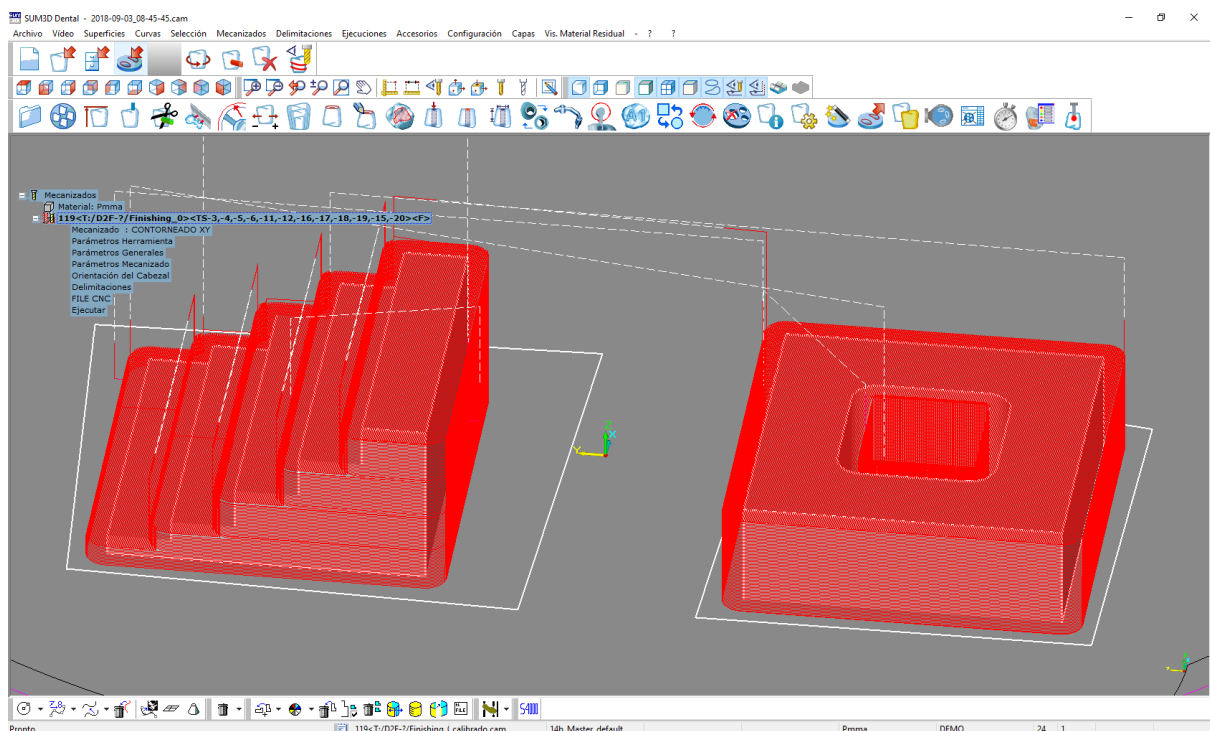


Figura 16: visualización de la trayectoria de la herramienta para fresar el modelo de calibración; obsérvese que la trayectoria de mecanizado no sigue la curva que delimita la zona de mecanizado, sino que fresa lo necesario dentro de la misma.

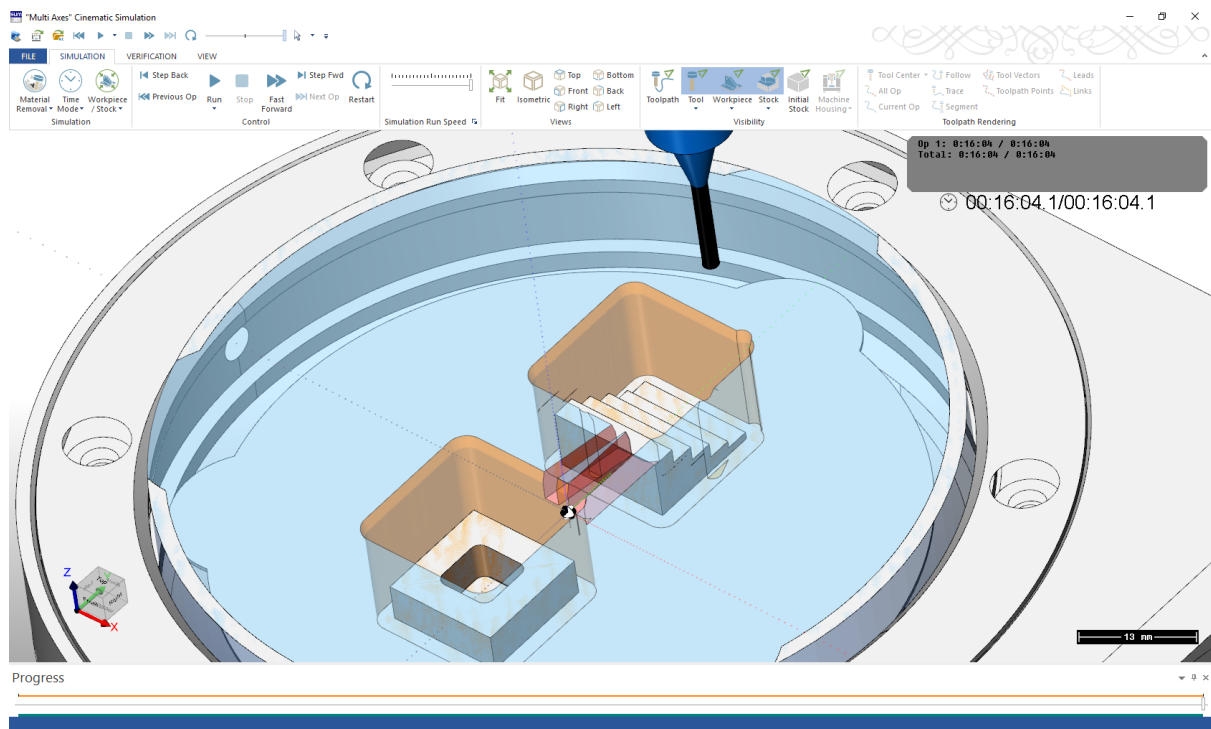


Figura 17: visualización de la simulación del mecanizado del modelo de calibración

1.2.4.2. Fresado estético de un modelo completo

El diseño de una estrategia para este tipo de mecanizado es el más simple de las tres opciones planteadas.

Para llevar a cabo este tipo de mecanizado deberemos marcar como zona de trabajo todo el modelo con dientes, o al menos el sector de arco con más interés. Para ello debemos seleccionar en SUM3D la opción de “Definir área de mecanizado especial”; esta opción permite usar estrategias manuales y algunas automáticas dentro del área delimitada manualmente por el usuario. Su uso es muy simple, al activar el comando, dibujamos con el ratón pinchando en los puntos que definen las esquinas del área que pretendemos mecanizar; este comando se activa desde cualquier ángulo de vista, de modo que al dibujar la línea cerrada que delimita el área de mecanizado, la línea se adapta al volumen de la pieza a mecanizar.

Una vez delimitada el área de mecanizado procedemos a importar las estrategias de mecanizado. En la mayoría de los casos, será suficiente con importar al completo la *mono-strategy* de SUM3D para según el tipo de restauración y a partir de esta estrategia, eliminaremos las partes que no nos interesen; a grandes rasgos, un trabajo de fresado de la anatomía se limita a importar de la *mono-strategy* las estrategias de acabado con la fresa esférica de 1 mm de diámetro y la estrategia de acabado anatómico con la fresa cónica de 0,6 mm de diámetro.

La estrategia debe modificarse de forma que la herramienta solo frese la cara de interés del modelo, es decir, el “lado 0” del modelo, mientras que la cara inferior sería la que se apoya en el soporte, la cual es plana que se corresponde con el “lado 180”.

Una vez importadas las estrategias debemos modificarlas para poder realizar el trabajo requerido. Lo primero es modificar el parámetro “Delimitaciones”, eligiendo la opción de “Definir a partir de curva” y seleccionamos la curva que dibujamos anteriormente para delimitar el área de mecanizado.

A partir de este punto, el resto de modificaciones son opcionales. Si hay zonas con un acceso limitado por la angulación de la máquina, será necesario modificar el ángulo de ataque de la fresa modificando el parámetro “Orientación del cabezal”; en caso de que fuera necesario fresar zonas con angulaciones muy diferentes, habría que crear varias zonas de mecanizado, cada una con un parámetro de orientación.

En las figuras 18 y 19 puede apreciarse la trayectoria del mecanizado total del modelo (figura 18) y la simulación del mecanizado (figura 19):

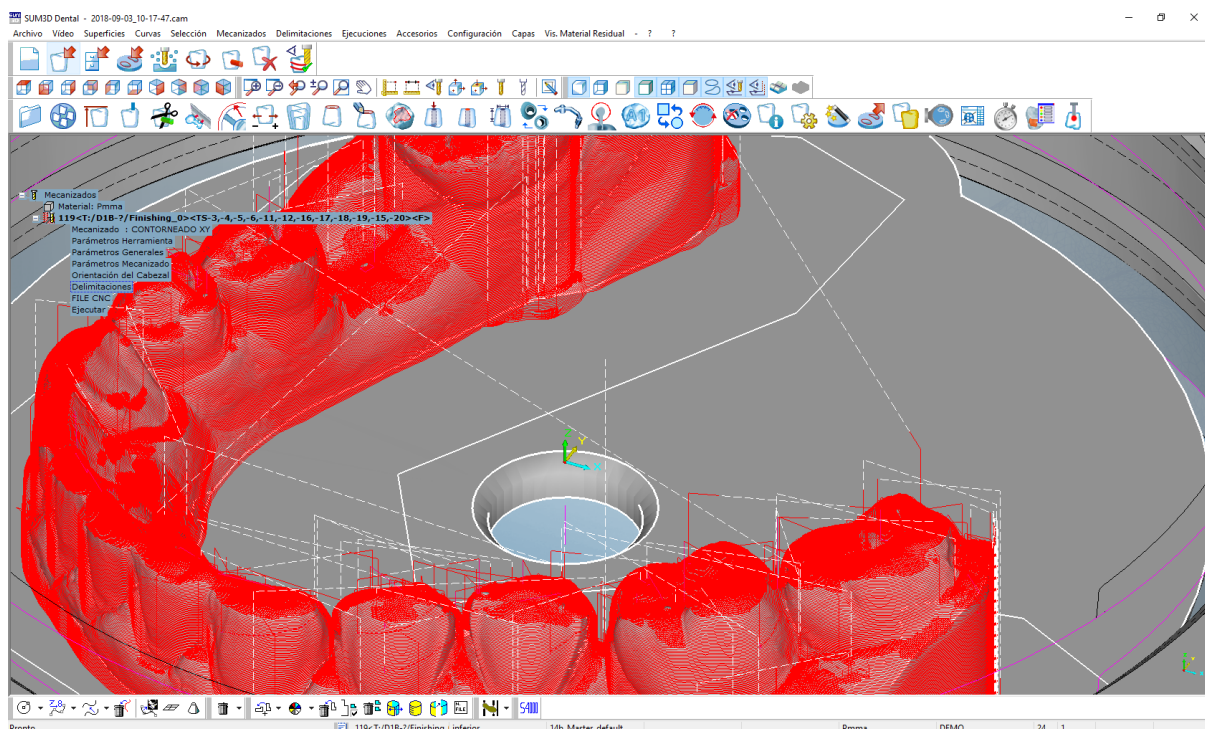


Figura 18: trayectoria del mecanizado a volumen completo de un modelo; obsérvese la diferencia entre la trayectoria de la herramienta (línea roja) con la curva de delimitación (curva blanca)

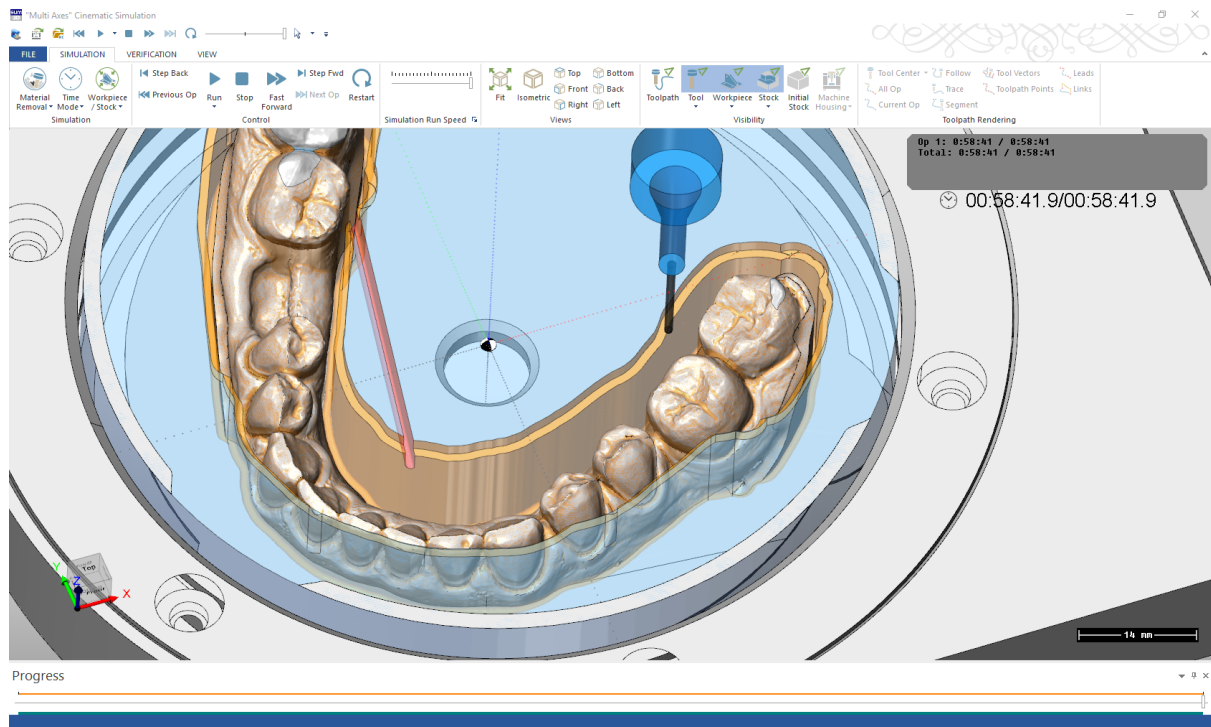


Figura 19: simulación del mecanizado a volumen completo de un modelo

Tras la simulación, el tiempo necesario para llevar a cabo un mecanizado de este tipo nos indica que ocupa aproximadamente una hora y media:

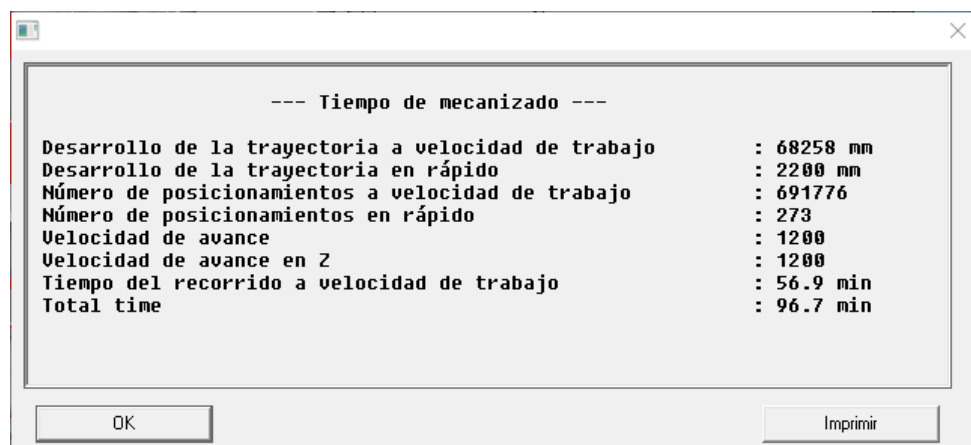


Figura 20: ficha del cálculo de tiempo de mecanizado; tras una trayectoria de 68258 mm de largo, se invierte un tiempo de **96,7 minutos**, de los cuales 56,9 se hacen a la velocidad de 1200 mm/min

Al igual que en el mecanizado del modelo de calibración, la curva que delimita la zona de mecanizado simplemente debe contener el volumen que queremos mecanizar, el CAM se encarga de identificar el volumen del modelo y restringe el mecanizado sólo a ese volumen, obviando el trozo de plano que se corresponde con la base, el cual es un plano que no debe fresarse. En la siguiente figura puede observarse la curva de delimitación, la cual es irregular y está formada por trazos

rectos, mientras que el mecanizado es suave y se ha hecho alrededor del modelo impreso.

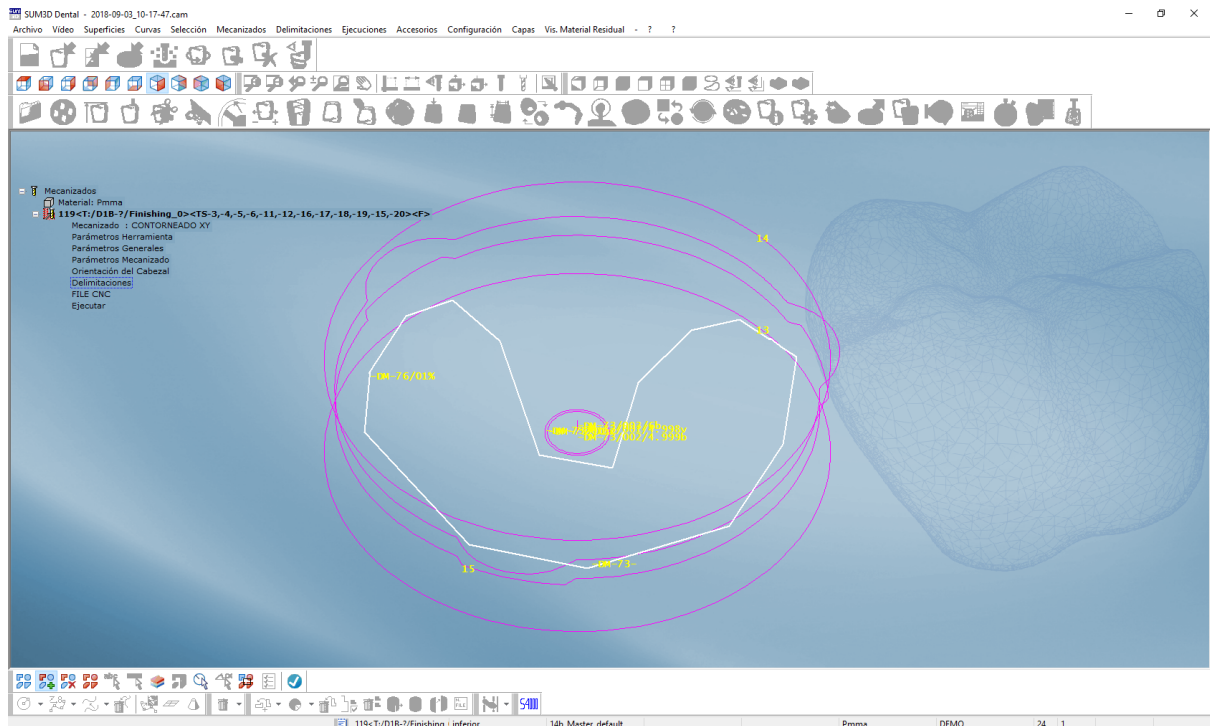


Figura 21: curva de delimitación de mecanizado a volumen completo

Asimismo podemos modificar parámetro de acabado, distancia entre pasadas o incluso el tipo de mecanizado. Por norma general, será suficiente con un mecanizado de Contorneado XY, que es un tipo de mecanizado de SUM3D, sin embargo, podremos necesitar otro tipo

1.2.4.3. Fresado de zonas para carillas u otras áreas de interés

Este tipo de mecanizados son de corta duración y se realizan en zonas muy concretas del modelo. La estrategia de mecanizado es similar al caso anterior.

Para realizar este tipo de mecanizado es necesario reutilizar una estrategia de acabado dentro de la *mono-strategy* en la que será necesario utilizar una herramienta de 1 mm de diámetro para fresar plástico. Este mecanizado necesita de mucha precisión, por lo que también incluiremos estrategias de *undercuts* y de acabado anatómico.

Las estrategias de *undercuts* identifican la zona intermedia entre caras anatómicas de dos dientes contiguos entrando en esta zona la fresa para abrir el hueco que debe existir entre ambos dientes. En esta estrategia suele usarse una fresa de 1 mm de diámetro, pero en este caso para tener un mejor acabado y absorber parte de alguna posible colisión con el modelo, modificaremos la estrategia para usarse con la herramienta de 0,6 mm de diámetro de plástico, la cual es cónica.

La estrategia de acabado anatómico cuenta por defecto con la fresa cónica de 0,6 mm de diámetro, de modo que en esta estraga sólo se modificará un parámetro que es común al resto de estrategias a utilizar.

Los diferentes mecanizados que componen estos trabajos suelen realizarse en zonas de mucha inclinación, de forma que la fresa no puede atacar al modelo de forma perpendicular, sino más bien de forma lateral, es por ello que es importante modificar el ángulo orientación del cabezal para poder fresar toda la cara del diente, teniendo siempre en cuenta los ángulos límite de la máquina anteriormente descritos en el proyecto.

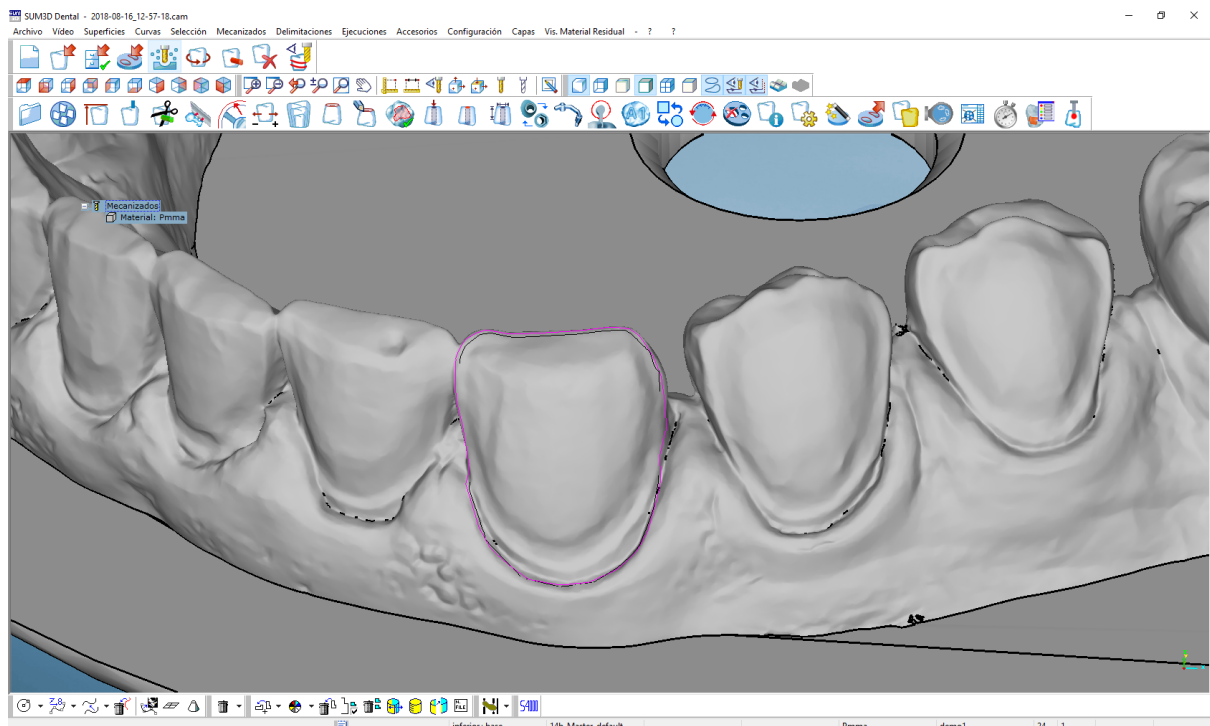


Figura 22: zona de mecanizado de una carilla; la curva morada delimita el área de mecanizado

La estrategia debe modificarse de forma que la herramienta solo frese la cara de interés del modelo, es decir, el “lado 0” del modelo, mientras que la cara inferior sería la que se apoya en el soporte, la cual es plana que se corresponde con el “lado 180”.

Las zonas a mecanizar son muy concretas, de modo que deberemos delimitarlas con las herramientas del CAM, concretamente delimitaremos una curva cerrada con la misma herramienta que en el apartado anterior, “Definir área de mecanizado especial”; con esta herramienta delimitamos la zona a mecanizar y en el parámetro “Delimitaciones”, elegimos la opción de “Definir a partir de curva” y seleccionamos la curva que dibujamos anteriormente.

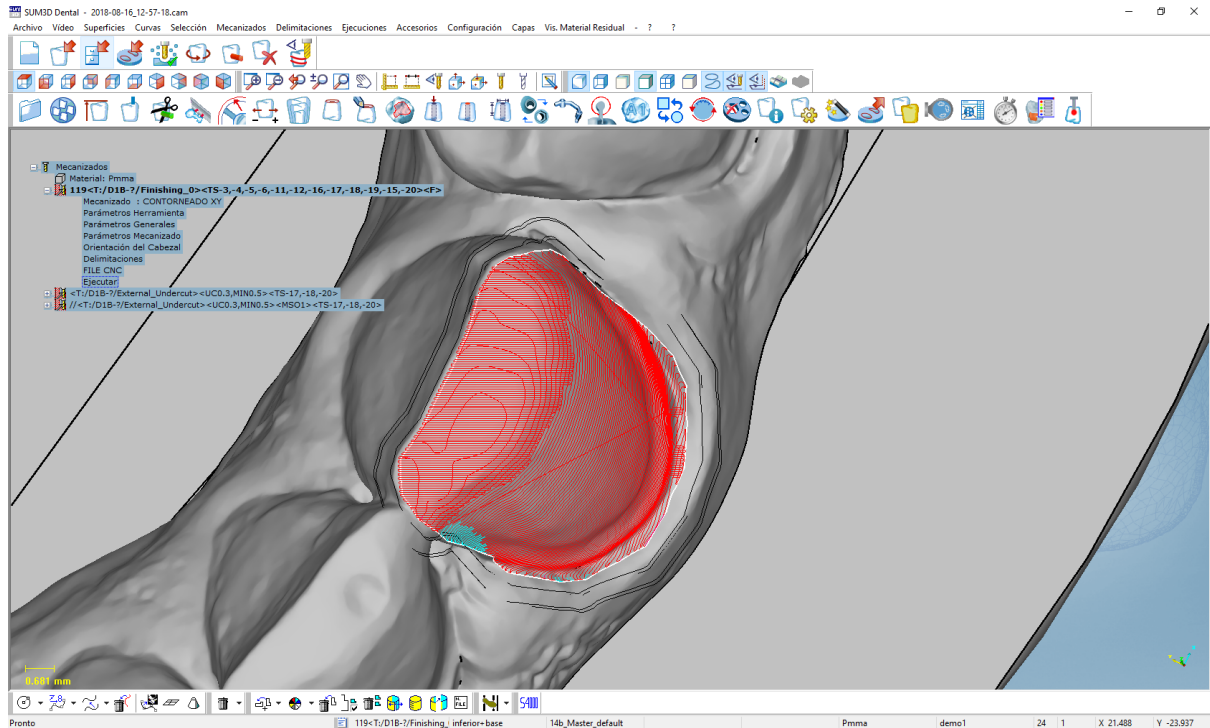


Figura 23: simulación del mecanizado desde la vista de ataque de la fresa sobre el modelo

1.2.4.4.Fresado taladros y canales para pilares de implante

Es tipo de mecanizado probablemente sea el mas complicado de llevar a cabo, pues la precisión exigida es máxima y son mecanizados de espacios interiores, lo que da muy poco margen de maniobra a las herramientas, las cuales al mismo tiempo son de menor diámetro para favorecer esto mismo.

Asimismo, este tipo de estrategias son las más variadas, pues en las demás básicamente se aplicaba un solo tipo de mecanizado, en este caso será necesario usar estrategias de taladrado y estrategias de acabado similares a las anteriores.

Las geometrías típicas de estos trabajos incluyen muchos planos, aristas y formas rectas, las cuales son más complicadas para las herramientas, pues éstas son cilíndricas. Para llevar a cabo este tipo de trabajos hemos seleccionado dos herramientas, ambas de punta plana, una de 2 mm de diámetro idéntica a la utilizada para el fresado del modelo de calibración y otra de similares características y de 1,5 mm de diámetro; en caso de ser necesario se podrían utilizar herramientas incluso de 1 mm de diámetro.

En la figura 24 se muestran los parámetros de esta nueva herramienta:

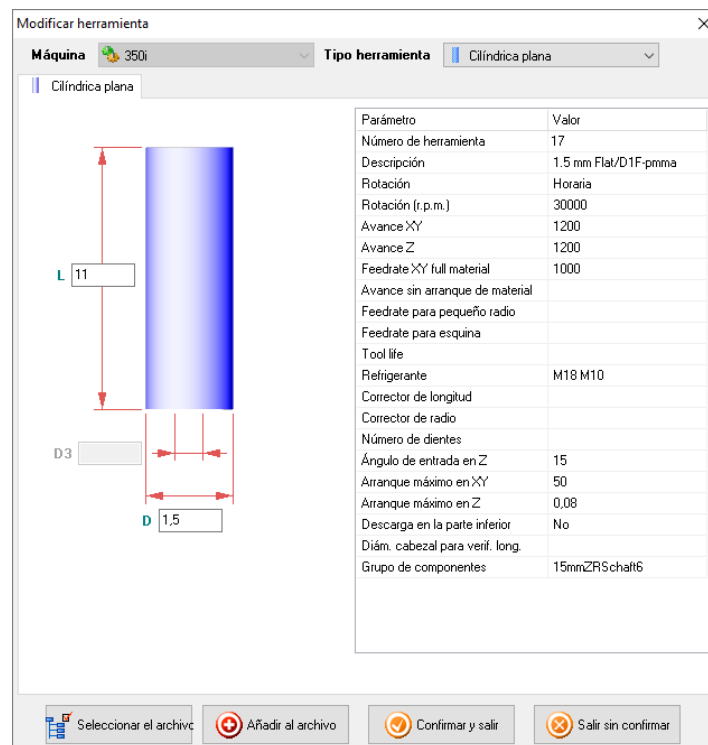


Figura 24: parámetros de la herramienta plana de 1,5 mm de diámetro

El procedimiento de la estrategia será similar a los anteriores, pero con algunos puntos a tener en cuenta. Al igual que en las estrategias anteriores, deberemos dibujar una curva para delimitar una zona de mecanizado especial, que será la que delimite la zona de interés; dentro de esta zona deberemos crear una línea de preparación de forma manual utilizando el comando “Designación manual de Prep-line” en cada una de los canales a fresar; la creación de la línea de preparación hace que se frese utilizando una estrategia de movimiento en 5 ejes en continuo, de modo que la máquina tiene un mayor rango de movimiento en tiempo real al poderse cambiar el ángulo de ataque de la herramienta sobre el modelo, lo que hace que la herramienta llegue a más zonas a fresar.

Tras crear estas curvas, deberemos tener en cuenta otro tipo de curvas; al ser una geometría tan definida, en el momento del diseño se crean unas curvas de referencia a la geometría a fresar, de modo que estas curvas sirven de referencia al software CAM para fresar los taladros de la manera más precisa. Estas curvas definen parámetros fundamentales de los taladros, son los que definen su geometría, es decir, se marcan los ejes y su longitud y el diámetro de cada parte del eje.

Para realizar este tipo de mecanizado usaremos en primer lugar una estrategia de taladrado para el desbaste de las conexiones, aunque el parámetro de “offset” estará situado a 0, esta estrategia tendrá definido un ángulo de ataque concreto, con lo que pueden quedar otras zonas sin fresar. Esta estrategia usará las curvas

anteriormente mencionadas para poder fresar la mayor parte del canal. En la figura 25 se muestran los parámetros para esta estrategia:

Parámetro	Valor
Diámetro mínimo para selección automática	0
Diámetro máximo para selección automática	0
Color de las superficies para selección automática	[Color seleccionado]
Usar el color para la selección automática	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Curvas que identifican círculos completos	-DM-79/001/2.008b,-DM-79/003/3.494b,-DM-79/007/2.005v,-DM-
Tipo de operación	Fresado de taladros en espiral
Aplicar a las porciones del cilindro	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Inclusión de los agujeros concéntricos	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Aplicación a los agujeros ciegos o pasantes	Agujeros ciegos y agujeros pasantes
Rapid movements executed at the minimum Z	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Selección mediante el plano de taladrado	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Rotación del plano de taladrado en YZ	0
Rotación del plano de taladrado en XZ	0
Indicación del punto de inicio	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
5 axis optimization type	By angles

Figura 25: parámetros de mecanizado de la estrategia de taladrado de canales de implante

La siguiente estrategia es de acabado y se llevará a cabo con la herramienta de 1,5 mm de diámetro, ésta al usar los 5 ejes de la máquina de forma continua y al ser una herramienta plana, llegará a las zonas donde la anterior estrategia no ha llegado a fresar. En la figura 26 se muestran los parámetros para esta estrategia:

Parámetro	Valor
Valor de incremento en Z	0
Pasadas en correspondencia con los planos	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Tipo de retirada en Z	Z mínima posible
Diámetro de la última herramienta	0
Redondeado de esquinas internas	<input checked="" type="radio"/> SÍ <input type="radio"/> NO
Radio para redondear las aristas internas	0
Tipo de optimización	Optimización del número de reposicionamientos
Tipo de mecanizado	Bidireccional
Remecanizado por sobremetal constante	Con pasadas concéntricas
Ángulo máximo de bajada	0
Uso de los puntos de inicio	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Compensación del radio de la herramienta	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Habilitación del mecanizado con ángulos negativos	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Reducción del avance en ángulos vivos	<input type="radio"/> SÍ <input checked="" type="radio"/> NO
Secuencia optimizada por zonas	<input checked="" type="radio"/> SÍ <input type="radio"/> NO

Figura 26: parámetros de mecanizado de la estrategia de acabado de canales de implante

En un caso para fresar tres canales de implantes, este es el resultado del cálculo de su trayectoria en uno de los canales, y el tiempo total en fresar los tres canales:

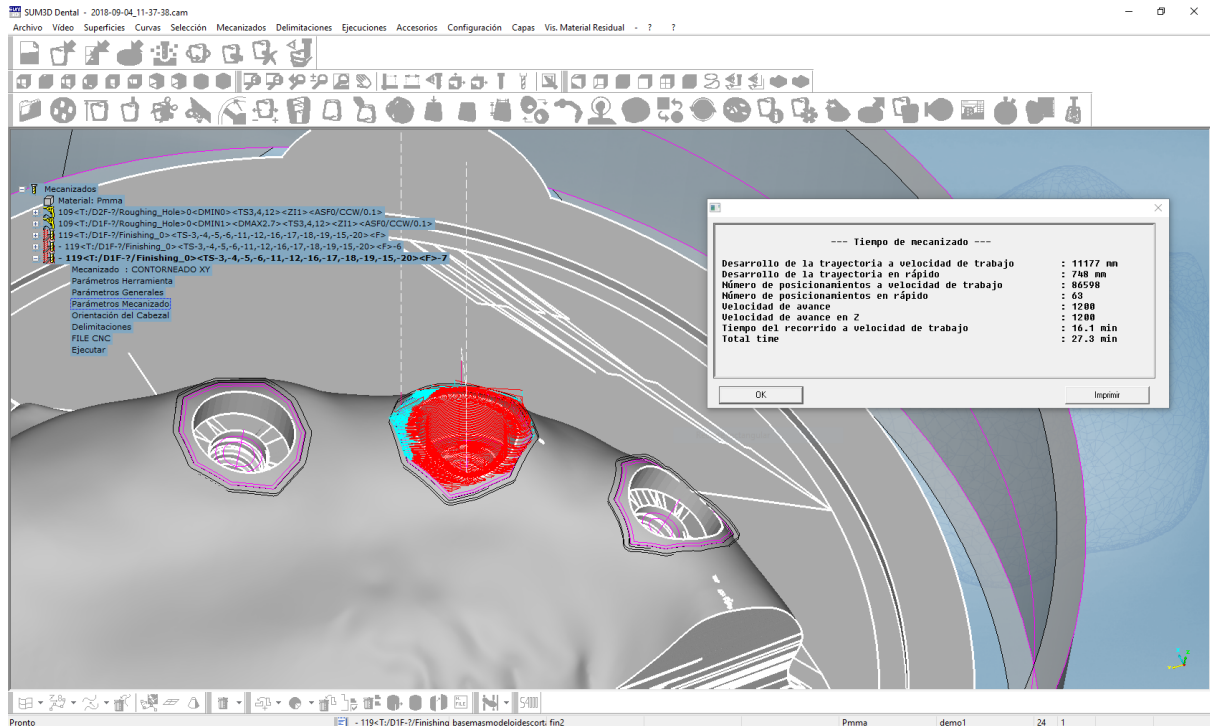


Figura 27: trayectoria del fresado de un canal de implante y tiempo total del mecanizado

Tras el cálculo de la trayectoria, se ha calculado todo el mecanizado para comprobar el acabado obtenido. Se comprueba que la estrategia de comporta de forma predecible y que fresa todas las zonas de interés con la precisión deseada.

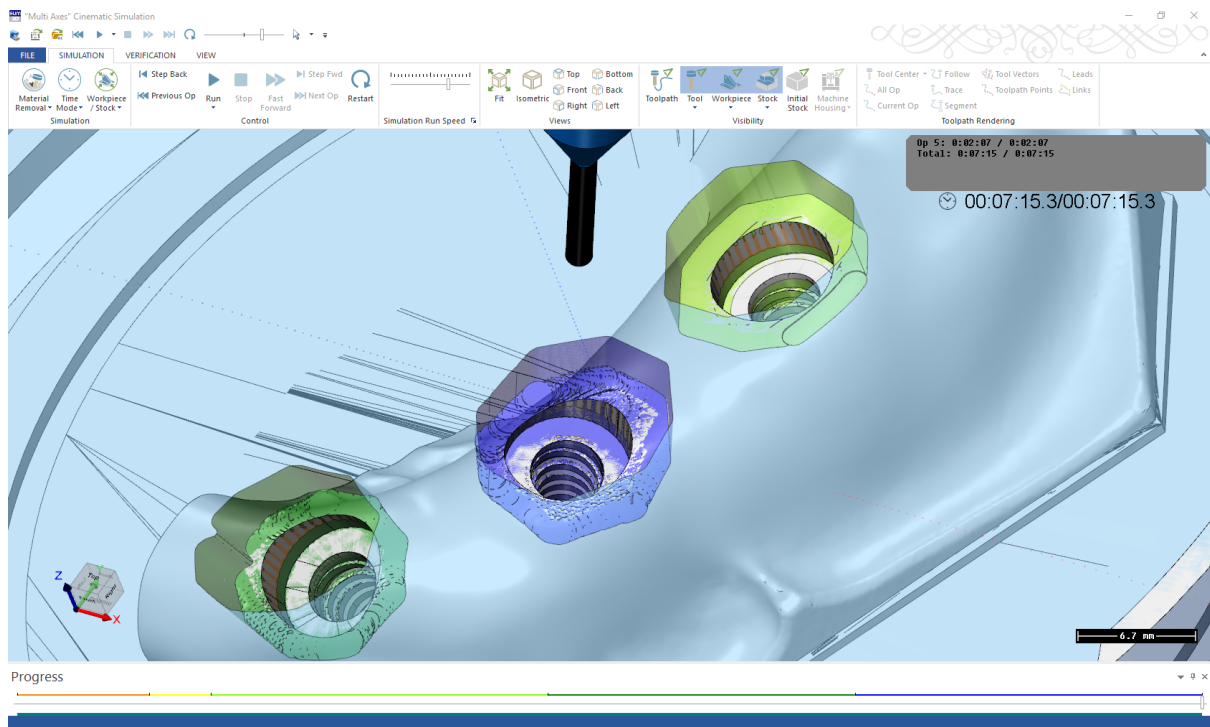


Figura 28: simulación del mecanizado de canales de implante; obsérvese en la parte inferior la distribución de las estrategias por colores (dos de desbaste y tres de acabado)

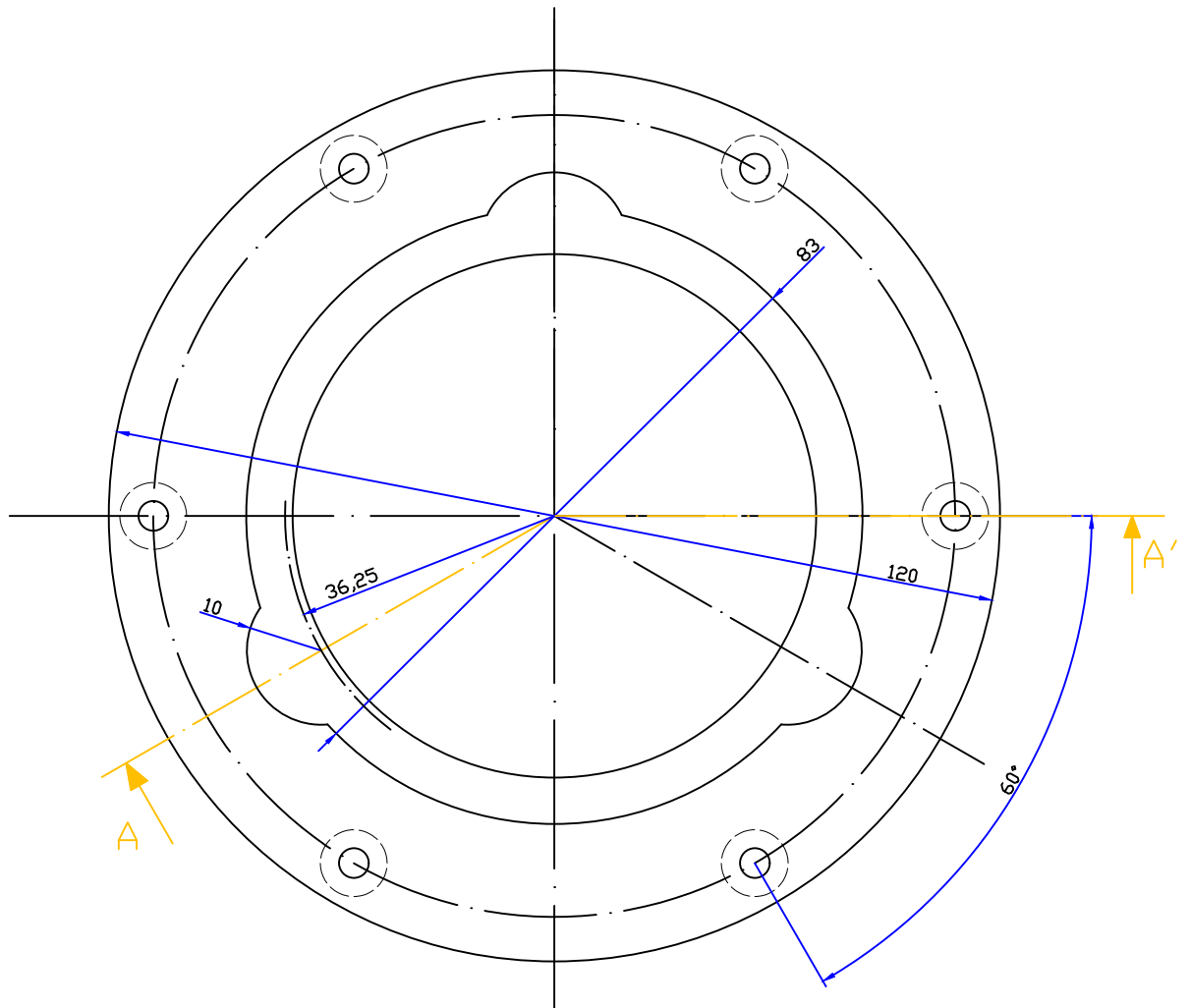
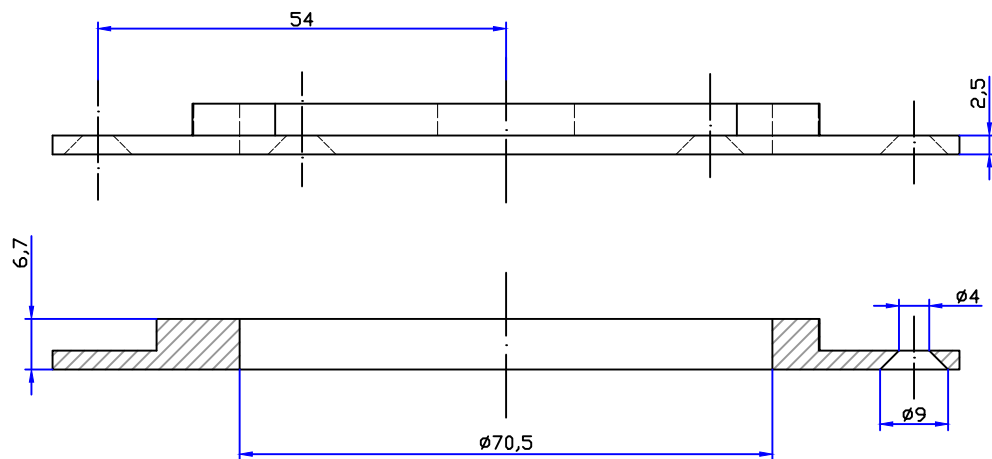
Planos


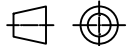
Índice

2. Planos

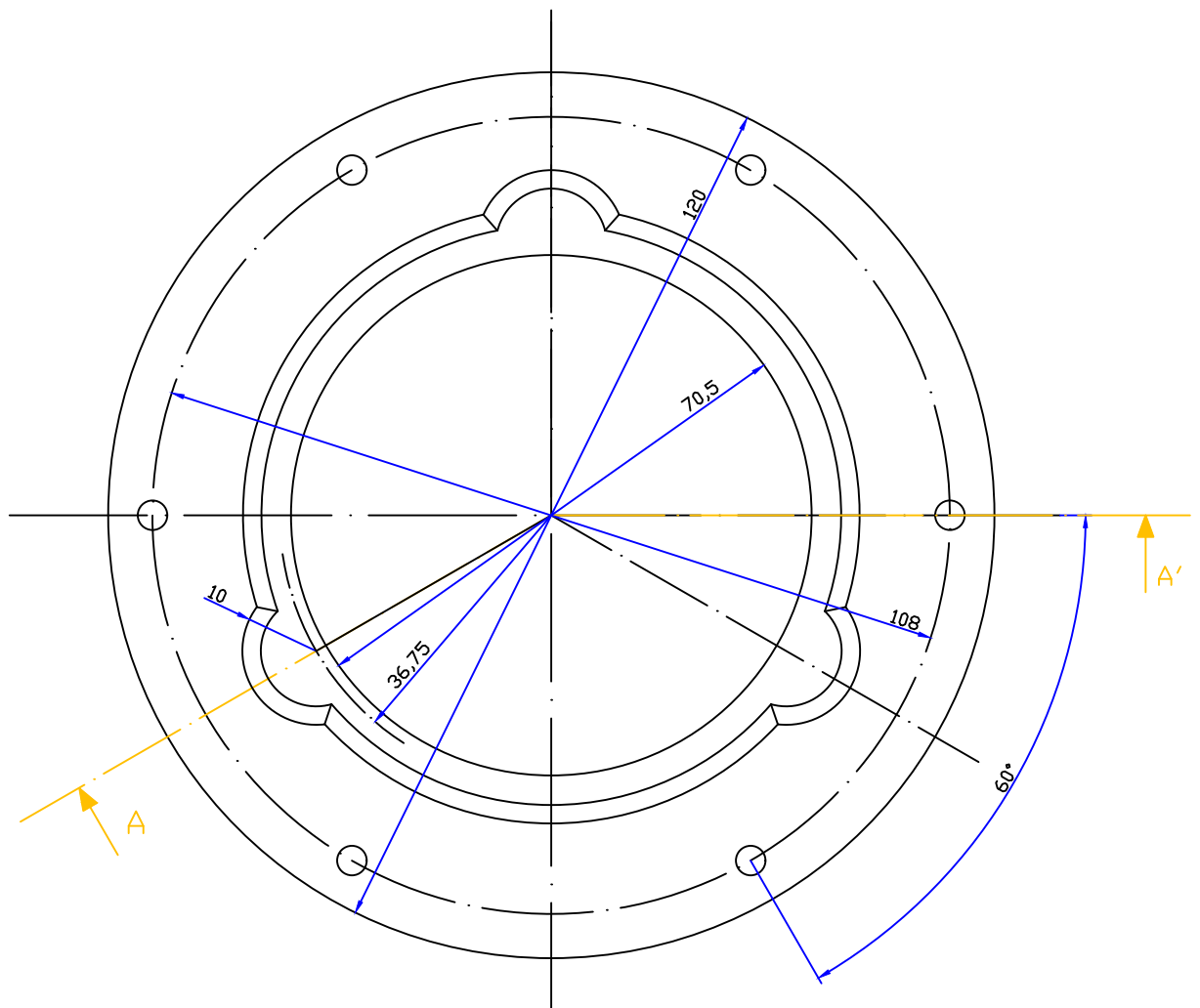
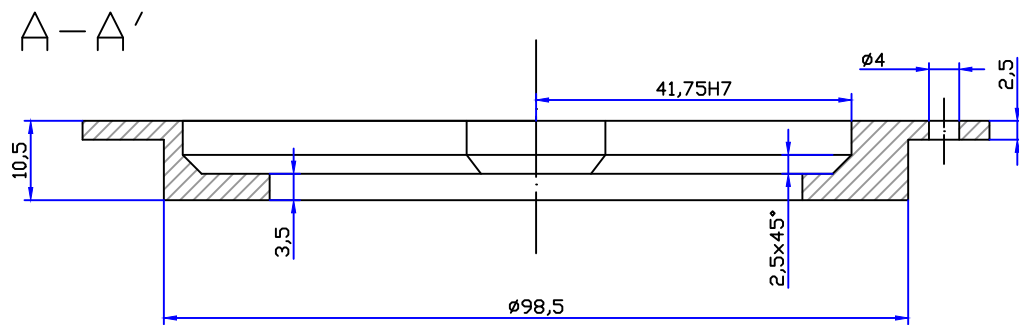
2.1.Soporte superior	1
2.2.Soporte inferior	2
2.3.Base de impresión	3
2.4.Modelo digital de calibrado	4
2.5.Modelo de calibrado para fresar	5
2.6.Ensamblaje normal	6
2.7.Ensamblaje de modelo de calibración	7


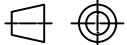
N6
N8
Fresado
En todas las superficies salvo indicación particular

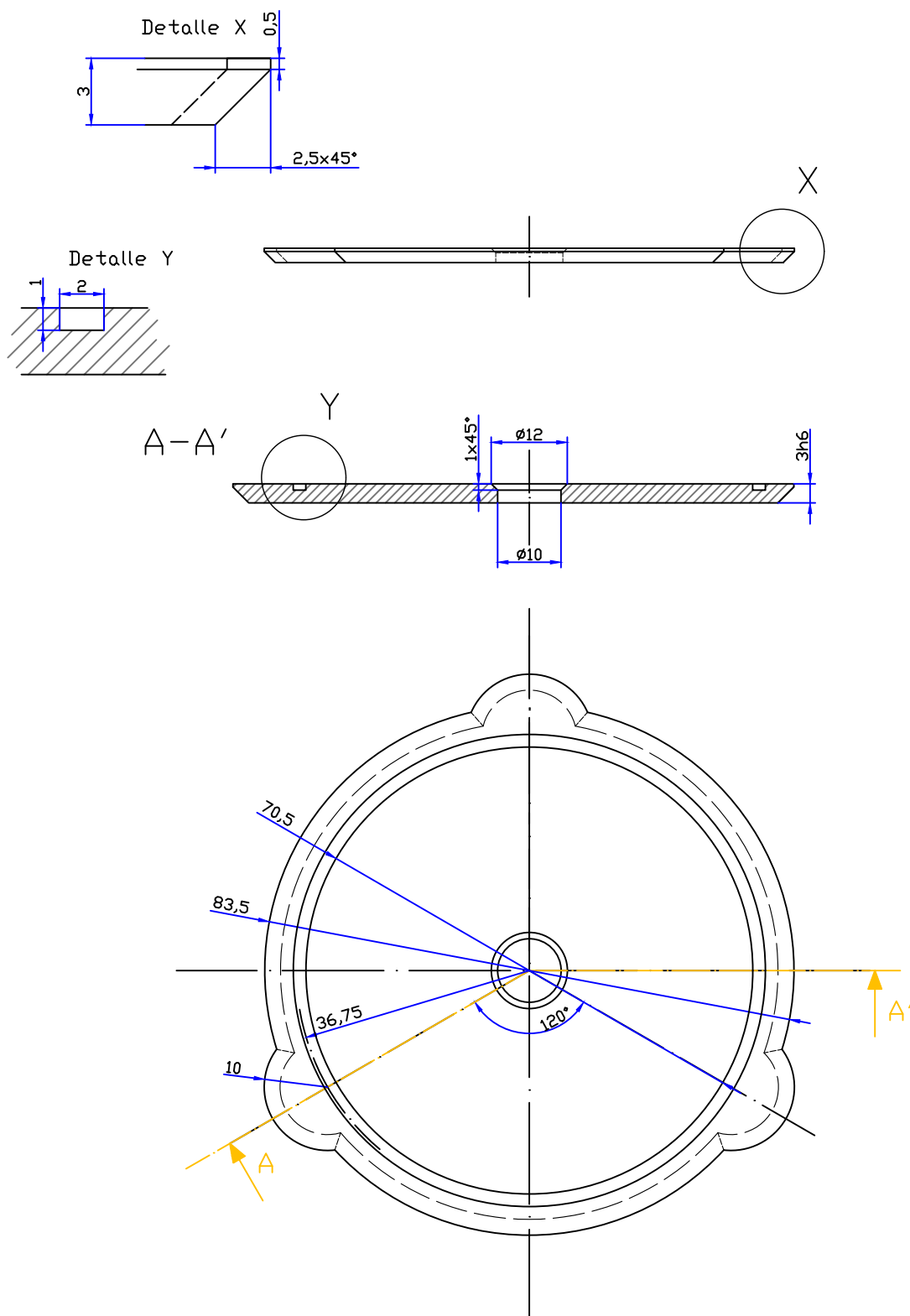



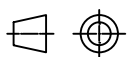
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	21/07/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA	1:1			
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO:			PLANO Nº: I
	SOPORTE SUPERIOR			

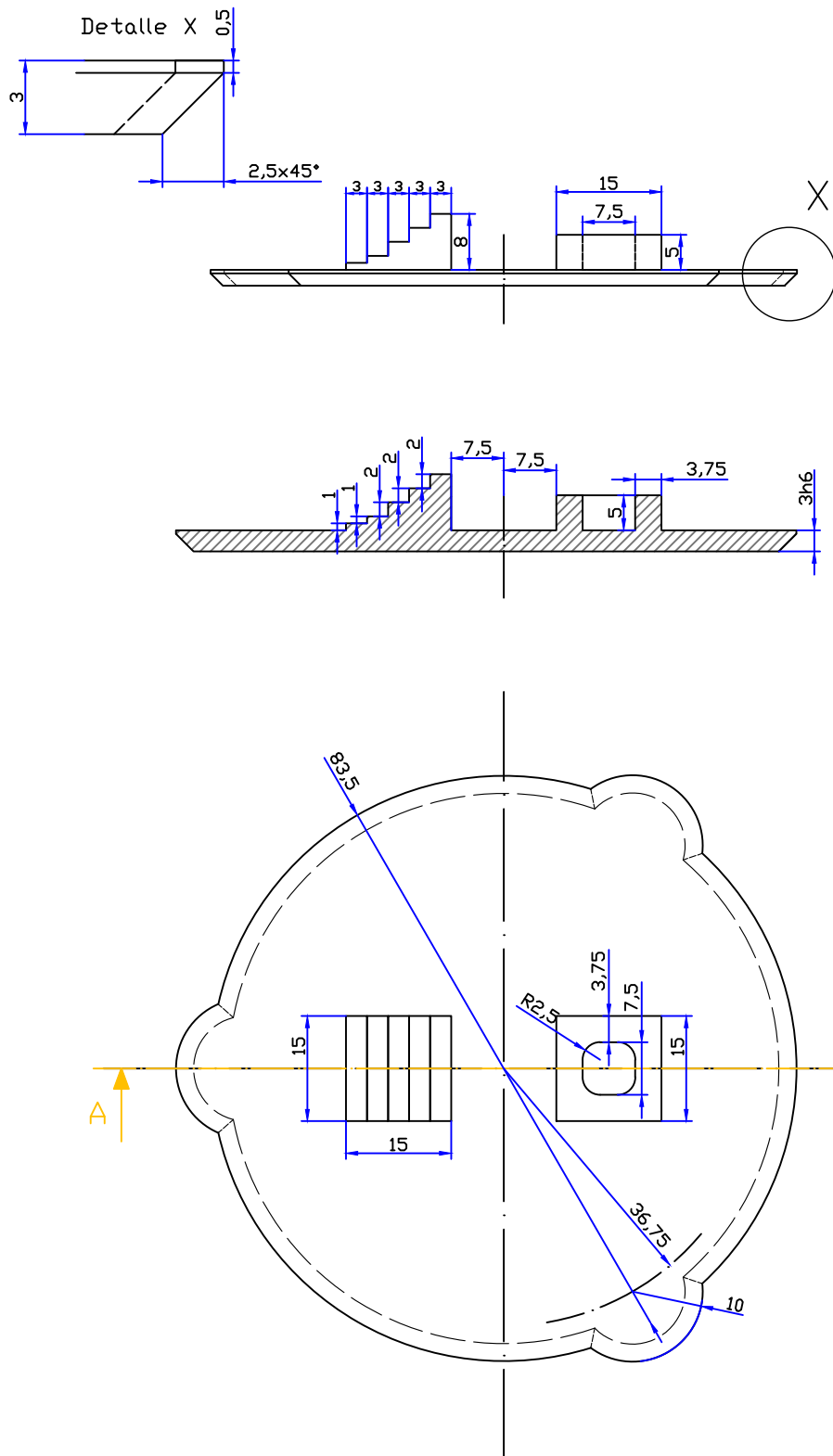
N6 Fresado
N8 En todas las superficies salvo indicación particular


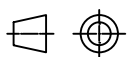


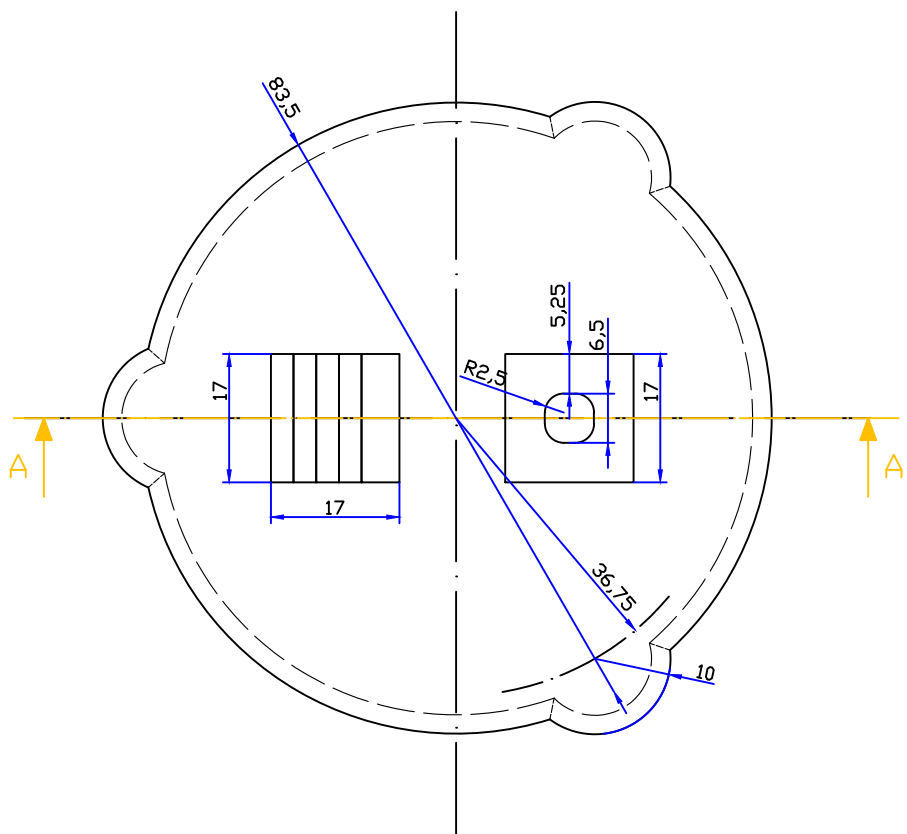
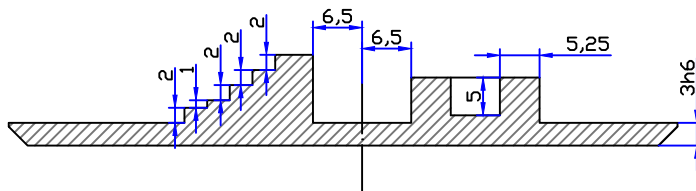
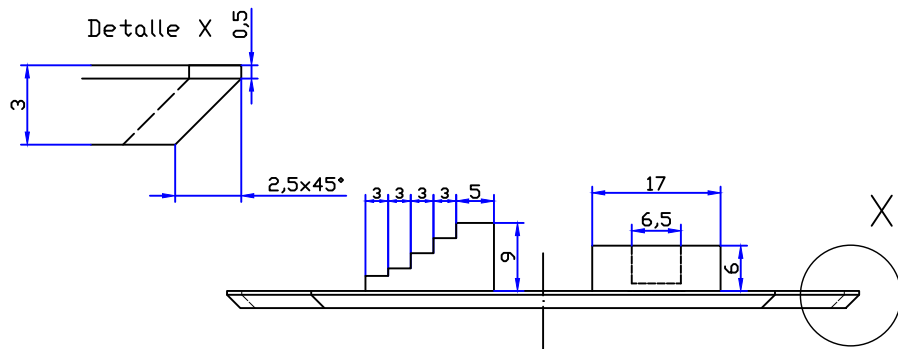
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	25/07/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA	1:1			
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: SOPORTE INFERIOR			PLANO Nº: 2


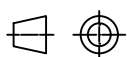


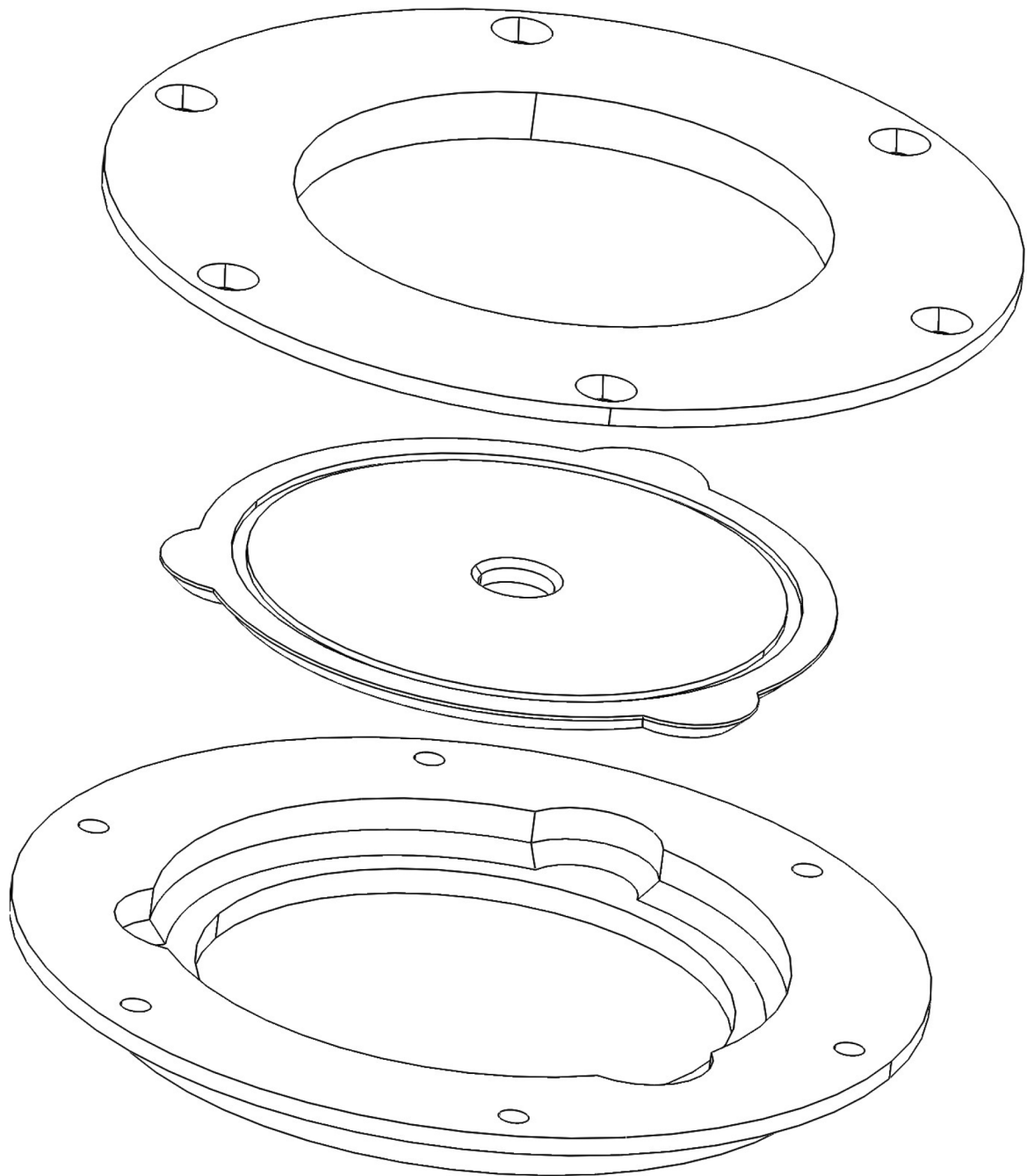
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	16/07/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA	1:1			
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: BASE DE IMPRESIÓN			PLANO Nº: 3



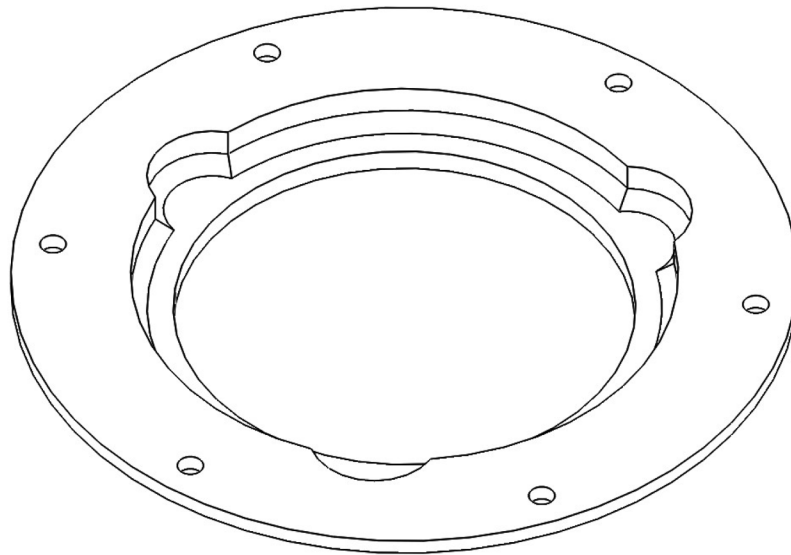
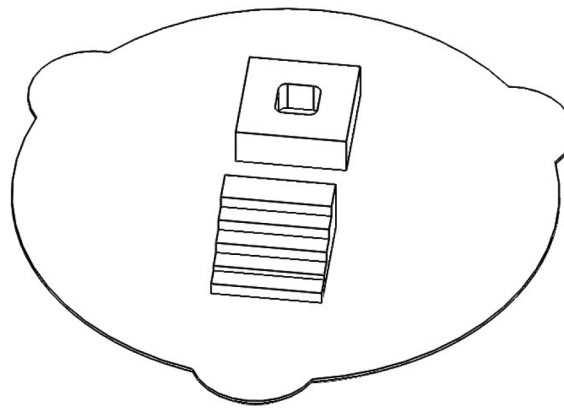
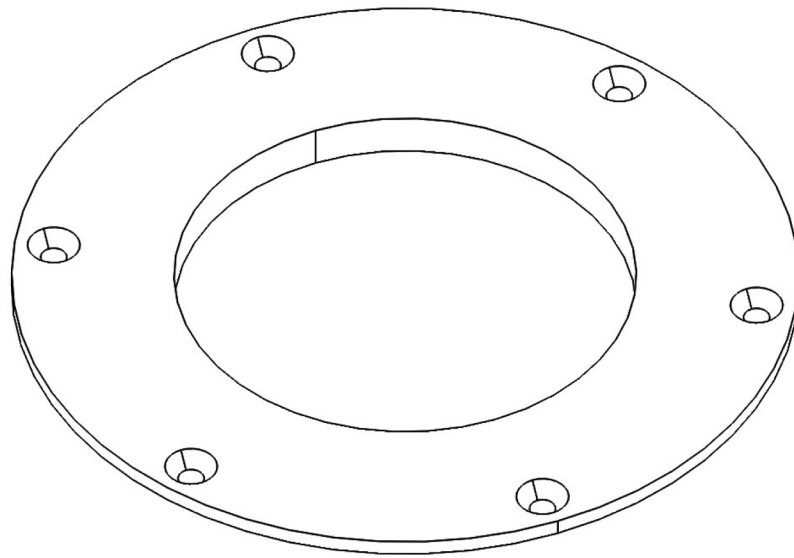
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	04/08/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA	1:1			
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: MODELO DIGITAL DE CALIBRADO			PLANO Nº: 4




	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	04/08/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA	1:1			
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: MODELO DE CALIBRADO PARA FRESAR			PLANO Nº: 5



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	10/08/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGO MELÉNDEZ		
ESCALA				
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: ENSAMBLAJE NORMAL			PLANO N°: 6



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
DIBUJADO	10/08/2018	FERNANDO DANIEL GALLEGOMELÉNDEZ		
ESCALA				
	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO DE FRESADO DE MODELOS IMPRESOS EN 3D APLICADOS AL SECTOR PROTÉSICO-DENTAL			
	DENOMINACIÓN DEL PLANO: ENSAMBLAJE DE MODELO DE CALIBRACIÓN			PLANO Nº: 7

Pliego de condiciones

Índice

3. Pliego de condiciones

3.1.Pliego de condiciones generales	1
3.1.1.Objetivo del pliego	1
3.1.2.Descripción del proceso de fabricación	1
3.2.Pliego de condiciones facultativas	3
3.3.Pliego de condiciones técnicas	4
3.3.1.Ensayos a realizar en el producto terminado	4

3. Pliego de condiciones

3.1. Pliego de condiciones generales

3.1.1. Objetivo del pliego

En este proyecto se definen las pautas para fabricar y utilizar un dispositivo para el fresado de piezas impresas en 3D. La aplicación que se ha desarrollado en el proyecto es la del campo protésico dental, de modo que este pliego se centrará en el uso del dispositivo en esta área de trabajo.

Para la fabricación en masa deberá seguirse este documento y adjuntarse como documentación el procedimiento de uso del dispositivo.

El pliego de condiciones define los siguientes aspectos:

- Fases del proyecto: diseño, fabricación y explotación
- Especificaciones de los componentes del dispositivo
- Instrucciones de uso

Listado de componentes del producto:

Elemento	Cantidad	Material (tipo)	Fabricación
Soporte inferior	1	Aleación Aluminio (pieza mecánica)	Fresado CNC
Anillo de sujeción	1	Aleación Aluminio (pieza mecánica)	Fresado CNC
Base del modelo a mecanizar	1	Resina fotopolimerizable (pieza mecánica)	Impresión 3D (SLA)

3.1.2. Descripción del proceso de fabricación

En este apartado se describen las pautas que deben seguirse para la fabricación de este dispositivo. Debe tenerse en cuenta que en este proyecto se ha justificado y descrito el diseño del dispositivo, asimismo se han descrito las pruebas necesarias para poder usar el dispositivo en un entorno controlado, fabricando en una fase temprana del proyecto un modelo impreso en 3D con el que poder realizar las pruebas de ajuste y de uso del dispositivo.

En este apartado no tendremos en cuentas las fases de diseño y prototipado del dispositivo y pasaremos a la descripción de la fabricación del modelo definitivo.

I. Obtención de los materiales

Para la fabricación de las dos piezas que componen el dispositivo, se necesitará, al menos dos bloques de unas medidas de 150x150x15 mm para la pieza inferior y un bloque de 150x150x9 mm para la fabricación de la pieza superior, un primer par en material fresable, como por ejemplo resina de test y otro par de bloques en el material definitivo, una aleación de aluminio de la serie 6262.

II. Fabricación de modelo preliminar

El siguiente paso será la fabricación de ambas piezas del dispositivo usando un material provisional, preferiblemente resina, como por ejemplo resina de test, que es fácil de mecanizar y ofrece un buen acabado superficial y un buen ajuste.

El método de fabricación será el de mecanizado por arranque de viruta, es decir, fresado CNC.

Con este primer modelo podremos hacer las pruebas de calibrado y ajuste de la máquina para la fabricación del modelo definitivo. Si las pruebas no son favorables, los modelos deberán ser fabricados de nuevo para nuevas pruebas.

III. Fabricación del modelo definitivo

El método de fabricación es el mismo del apartado anterior, las piezas definitivas se mecanizarán por arranque de viruta usando una fresadora CNC.

Usando los parámetros de las pruebas anteriores, se comenzará con la fabricación de un primer modelo en el material definitivo, al igual que se ha hecho con el modelo provisional. Una vez comprobado el ajuste de las piezas, se procede a su uso.

El material que deberá utilizarse será una aleación de aluminio de la serie 6262 o 6026 según la aplicación final. La selección del material definitivo está desarrollada en el Anexo I.

IV. Pruebas de uso

Una vez fabricado un modelo definitivo y funcional del dispositivo se procederá a realizar pruebas de uso. Las pruebas se realizan en un entorno controlado, usando materiales cuyo comportamiento es conocido y máquinas de sobrada experiencia en su uso.

Tras cada prueba se realizarán mediciones entre el modelo mecanizado y el modelo digital, cuando se compruebe que el margen de error del mecanizado es menor a 100 micras, daremos el resultado como satisfactorio, pues esa desviación es perfectamente asumible durante el trabajo manual sobre la prótesis debido al uso

de los materiales de adhesión, que son capaces de ocupar ese espacio durante su colocación.

Se realizarán tantas pruebas como sean necesarias y en caso de fractura del modelo, se procederá al estudio de este suceso, una vez esclarecido lo ocurrido, se volverá a fabricar el modelo definitivo y se reanudarán las pruebas.

V. Uso definitivo

Tras haber comprobado que el dispositivo es mecanizado correctamente y que su uso se lleva a cabo como estaba previsto siguiendo el procedimiento diseñado, podrá empezar la fabricación por lotes para la distribución a clientes con calidad de probadores de productos.

Tras un trimestre, o dos si es necesario, si las pruebas son satisfactorias, el producto puede comenzar su fabricación en masa y su posterior distribución; en caso contrario, deberá volverse a realizar pruebas de uso e incluso si es necesario rediseñar alguna parte del dispositivo o del procedimiento de uso.

En la distribución del producto deberá adjuntarse en la caja del dispositivo, sus instrucciones de uso (procedimiento), la normativa a la que está sujeto el dispositivo, el marcado CE y las indicaciones de seguridad.

3.2.Pliego de condiciones facultativas

Los permisos de carácter obligatorio se tendrán que obtener por parte de la empresa contratante, quedando la empresa contratista al margen de todas las consecuencias derivadas de las mismas. Cualquier retraso durante el proceso de fabricación debido a causas justificadas, debiendo ser ajenas a la empresa contratista, será debidamente aceptado por la empresa contratante, no teniendo ésta última derecho alguno a una reclamación o apertura de una no conformidad.

Cualquier retraso no justificado en la fabricación del producto supondrá el pago de una multa por el valor del 8% del importe total de fabricación por fracción de retraso acordado en el contrato.

La empresa contratante se compromete a proporcionar los datos, información de diseño y *know-how* de la empresa contratista para que la fase de fabricación se cumpla de manera eficaz.

El producto deberá cumplir con los requisitos mínimos respecto al presente proyecto, cualquier variación o mejora del contenido de este proyecto deberá consultarse con el autor del mismo.

La contratación de este proyecto se considerará válida cuando ambas partes implicadas se comprometan a concluir las cláusulas del contrato, por el cual

tendrán que estar firmados los documentos adecuados en una reunión conjunta después de haber llegado a un acuerdo previo.

3.3.Pliego de condiciones técnicas

Las características técnicas exigibles tanto a las partes del producto y materiales necesarios para su fabricación, así como procesos de fabricación, son los reflejados en la Memoria de este proyecto.

El diseño del producto es limitante, por lo que cualquier modificación respecto al diseño, materiales o tecnología de fabricación deberán ser aprobados por el proyectista y la propiedad.

3.3.1.Ensayos a realizar en el producto terminado

Una vez realizado el producto de manera definitiva, debe comprobarse que las piezas del dispositivo ajustan correctamente y realizan su función, asimismo deberán realizarse las pruebas pertinentes para su uso en máquinas-herramientas como fresadoras de control numérico (CNC).

Las diferentes piezas que componen el producto deberán superar las pruebas descritas en la norma **UNE 15450-8:2003** sobre las condiciones de ensayo de centros de mecanizado que sirve para la evaluación de la precisión del contorneado en los tres planos de coordenadas, asimismo, para asegurar el buen ejercicio de lo descrito en el proyecto, los trabajos de verificación de todas las etapas previas a la fabricación en serie, debe seguir lo descrito en la norma **UNE-EN ISO 9001:2015** sobre sistemas de gestión de la calidad.

Salvo indicación contraria, el ambiente de utilización normal de este dispositivo deberá ser el descrito en la norma **UNE-EN 13128:2002+A2 2009**.

Presupuesto

Índice

4. Presupuesto

4.1.Estado de mediciones	1
4.2.Precios unitarios	2
4.3.Precios descompuestos	3
4.4.Presupuesto material	5
4.5.Presupuesto final de ejecución	6

ESTADO DE MEDICIONES

Descripción	Unidades
Diseño	
Licencia CATIA v5	1
Licencia CES Edupack	1
Licencia exocad	1
Licencia Solidworks	1
Licencia Zfx Scan	1
Licencia SUM3D	1
Análisis y pre-proyecto	40h
Diseño y cálculo	250h
Verificación	112h
Realización de planos	14h
Hardware	
PC alto rendimiento	2
Escaner Zfx Evolution (accesorios incluidos)	1
Impresora 3D Form 2	1
Equipo de limpieza Form Wash	1
Equipo de post-curado Form Cure	1
Fresadora CNC imes-icore 350i (accesorios incluidos)	1
Fabricación	
Fabración	200h
Resina transparente Formlabs (1 litro)	3
Resina de modelo Formlabs (1 litro)	1
Resina alta rigidez	1
Bandeja de impresión Formlabs (standard)	2
Lubricante mineral Motorex Swissgrind Zoom Aqua (20 litros)	1
Alcohol isopropílico (20 litros)	1
Fresa PMMA imes-icore D=2,5 mm	1
Fresa PMMA imes-icore D=1 mm	3
Fresa PMMA imes-icore D=0,6 mm	1
Agua destilada (5 litros)	3
Material variado para mantenimiento de fresadora (pañós, herramientas, papel, productos de limpieza, etc.)	-

PRECIOS UNITARIOS

Descripción	Unidades	Precio unitario	Precio total
Diseño			
Licencia CATIA v5	1	11000,00 €	11000,00 €
Licencia CES Edupack	1	780,00 €	780,00 €
Licencia exocad	1	15000,00 €	15000,00 €
Licencia Solidworks	1	6790,00 €	6790,00 €
Licencia Zfx Scan	1	7000,00 €	7000,00 €
Licencia SUM3D	1	7000,00 €	7000,00 €
Hardware			
PC alto rendimiento	2	1369,00 €	2738,00 €
Escaner Zfx Evolution (accesorios incluidos)	1	18000,00 €	18000,00 €
Impresora 3D Form 2	1	3828,44 €	3828,44 €
Equipo de limpieza Form Wash	1	603,79 €	603,79 €
Equipo de post-curado Form Cure	1	845,79 €	845,79 €
Fresadora CNC imes-icore 350i (accesorios incluidos)	1	80000,00 €	80000,00 €
Fabricación			
Resina transparente Formlabs (1 litro)	3	163,35 €	490,05 €
Resina de modelo Formlabs (1 litro)	1	163,35 €	163,35 €
Resina alta rigidez	1	204,49 €	204,49 €
Bandeja de impresión Formlabs (standard)	2	66,55 €	133,10 €
Lubricante mineral Motorex Swissgrind Zoom Aqua (20 litros)	1	99,17 €	99,17 €
Alcohol isopropílico (20 litros)	1	78,21 €	78,21 €
Fresa PMMA imes-icore D=2,5 mm	1	58,46 €	58,46 €
Fresa PMMA imes-icore D=1 mm	3	58,46 €	175,38 €
Fresa PMMA imes-icore D=0,6 mm	1	58,46 €	58,46 €
Agua destilada (5 litros)	3	12,36 €	37,08 €
Material variado para mantenimiento de fresadora (pañños, herramientas, papel, productos de limpieza, etc.)	1	2300,00 €	2300,00 €

En este cuadro quedan recogidos los precios de todos los elementos necesarios para la realización del proyecto, modo que quede recogido el coste de los materiales necesarios.

Estos precios no se incluyen dentro del presupuesto final, pues sólo sirven como guía para los precios descompuestos derivados de la fabricación del dispositivo y demás tareas necesarias para completar el proyecto.

PRECIOS DESCOMPUESTOS

Hora de análisis y pre-proyecto: medida en horas realización de una investigación previa sobre la viabilidad del proyecto, toma de medidas del soporte de la máquina mediante herramientas manuales de precisión como calibres y micrómetros; selección del material mediante CES Edupack y bocetos previos a mano.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Análisis	0,40	2,27 €	0,91 €
Toma de medidas manual y escáner 3D	0,20	3,15 €	0,63 €
Selección de materiales	0,25	1,95 €	0,49 €
Material (Zfx Scan 3D, CES Edupack, escáner 3D Zfx, etc.)		32,80 €	32,80 €
Bocetos previos	0,15	18,65 €	2,80 €
Costes directos:			37,62 €
Costes indirectos (6% del coste directo):			2,26 €
Total			39,88 €

Hora de realización de planos: medida en horas de la realización de planos en el software AutoCAD a partir de las mediciones manuales y del escáner 3D.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Transcripción de medidas del escáner 3D	0,15	2,35 €	0,35 €
Material (AutoCAD, Catia V5)		13,60 €	13,60 €
Realización de planos en AutoCAD	0,85	3,00 €	2,55 €
Costes directos:			16,50 €
Costes indirectos (6% del coste directo):			0,99 €
Total			17,49 €

Hora de diseño y cálculo del dispositivo, base y accesorios de calibración: medida en horas de la realización de los diseños tridimensionales del dispositivo, de la base sobre la que se imprimen los modelos y los modelos de calibración del dispositivo.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Diseño en Catia V5	0,6	4,42 €	2,65 €
Diseño en Solidworks	0,3	4,42 €	1,33 €
Diseño en exocad	0,1	5,23 €	0,52 €
Material (hardware y CPU)		32,79 €	32,79 €
Ingeniería de detalle (12% material)		4,47 €	4,47 €
Costes directos:			41,77 €
Costes indirectos (6% del coste directo):			2,51 €
Total			44,27 €

Hora de verificación de los modelos: medida en horas de verificación de los modelos mediante escáner 3D, pruebas de impresión 3D, pruebas de fresado y medidas manuales.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Fabricación de modelos	0,6	2,36 €	1,41 €
Verificación	0,4	1,84 €	0,73 €
Material de medida (Zfx Scan 3D y herramientas de medida)		26,20 €	26,20 €
Mecanizado en fresadora (uso de máquina y gasto de materia prima, refrigerante y herramientas)	0,2	88,93 €	17,79 €
Impresión 3D (uso de impresora Form 2, uso de resinas y material de limpieza y acabado)	0,4	9,18 €	3,67 €
Costes directos:			49,81 €
Costes indirectos (6% del coste directo):			2,99 €
Total			52,79 €

Hora de fabricación definitiva del dispositivo: encargo a taller de fabricación en el material definitivo del dispositivo de fresado en máquinas de fresado CNC.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Fabricación de modelos	0,8	4,43 €	3,54 €
Mantenimiento de la fresadora y cálculo del mecanizado	0,2	3,03 €	0,61 €
Mecanizado en fresadora (uso de máquina y gasto de materia prima, refrigerante y herramientas)	0,8	88,93 €	88,93 €
Costes directos:			182,01 €
Costes indirectos (8% del coste directo):			14,56 €
Total			196,57 €

Hora de fabricación de modelos para pruebas de uso: medida en horas de la fabricación de modelos de trabajo reales para la comprobación de correcto funcionamiento del dispositivo y de la base de impresión.

Descripción	Tiempo en horas	Precio unitario	Precio total
Fabricación de modelos en impresora 3D	0,8	2,36 €	1,89 €
Fresado de modelos impresos	0,1	4,43 €	0,44 €
Impresión 3D (uso de impresora Form 2, uso de resinas y material de limpieza y acabado)	0,8	9,18 €	7,34 €
Mecanizado en fresadora (uso de máquina y gasto de materia prima, refrigerante y herramientas)	0,1	88,93 €	8,89 €
Mantenimiento de la fresadora y cálculo del mecanizado	0,1	3,03 €	3,03 €
Costes directos:			21,60 €
Costes indirectos (6% del coste directo):			1,30 €
Total			22,89 €

PRESUPUESTO MATERIAL

Descripción	Unidades	Precio unitario	Precio total
Diseño			
Análisis y pre-proyecto	40h	39,88 €	1595,12 €
Diseño y cálculo	250h	44,27 €	11068,06 €
Realización de planos	14h	17,49 €	244,86 €
Total			12.908,04 €
Verificación			
Verificación de prototipos	20h	52,79 €	1055,89 €
Verificación del dispositivo	12h	52,79 €	633,53 €
Verificación de modelos de prueba	80h	52,79 €	4223,57 €
Total			5.912,99 €
Fabricación			
Fabricación de prototipos	32h	22,89 €	732,60 €
Fabricación definitiva del dispositivo	8h	196,57 €	1572,56 €
Fabricación de modelos de prueba	160h	22,89 €	3663,02 €
Total			5.968,18 €

PRESUPUESTO FINAL DE EJECUCIÓN

Descripción	Precio total
Diseño	12.908,04 €
Verificación	5.912,99 €
Fabricación	5.968,18 €
Presupuesto de ejecución material	24.789,21 €
Beneficio Industrial (6% del coste material)	1.487,35 €
Gastos Generales y cargas fiscales (13% del coste material)	3.222,60 €
Presupuesto de ejecución por Contrata	29.499,16 €
Impuesto sobre el valor añadido (IVA=21% del Ppto de ejecución por contrata)	6.194,82 €
Total	35.693,99 €

Tras los cálculos necesarios para obtener los precios de cada partida presupuestada del proyecto, habiéndose añadido el beneficio industrial, gastos generales e impuestos, el presupuesto final del proyecto asciende a un total de **35693,99 €**.

Anexo I: selección de material definitivo

En este anexo se describirá el proceso llevado a cabo para la selección del material definitivo del dispositivo.

La principal justificación para el uso del material elegido es que es el mismo o de similares características al de los accesorios fabricados por la marca que fabrica las fresadoras utilizadas para desarrollar este proyecto.

Por la experiencia de uso y por comparación, se aprecia que el material del soporte de la máquina tiene un peso bastante bajo en comparación con lo que cabría esperar si fuera de algún tipo de acero, por lo que la primera impresión es que se trata de una aleación de aluminio, al mismo tiempo se aprecian manchas superficiales oscuras de lo que parece ser corrosión; por otro lado tenemos los accesorios de este soporte, los cuales pese a su pequeño tamaño, el peso de éstos es considerable, por lo que pensamos que el material de estos accesorios son de algún tipo de acero.

Por la forma y acabado del soporte, no parece que se hayan fabricado por métodos de arranque de viruta, sino por moldeo, a diferencia de los accesorios, los cuales sí parecen haber sido mecanizados.

Lo más sencillo para determinar el material más adecuado es recurrir a métodos o documentación para averiguar el tipo de material del que están hechas las piezas; el fabricante no aporta ningún tipo de información al respecto y consultando al servicio técnico obtenemos la misma respuesta, no puede saberse, debido probablemente a que sea un secreto profesional de la empresa, pues es evidente de que para evitar que la máquina sufra en exceso durante su vida útil, el peso del soporte debe ser lo menor posible para evitar esfuerzos en la unión desmontable del mismo, la cual funciona con aire comprimido que sujeta el soporte, al mismo tiempo el material debe soportar ambientes corrosivos y tener cierta resistencia a impactos y esfuerzos de flexión.

Para determinar el tipo de material, nos hemos puesto en contacto con el Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica del campus de Puerto Real de la Universidad de Cádiz para realizar una prueba de fluorescencia por rayos X (FRX), un tipo de análisis no destructivo para obtener la composición química de ambas piezas y así determinar con exactitud el material a emplear en la fabricación del dispositivo.

I. Soporte de fresado

Para el soporte los resultados arrojaron una composición del 56% en Al, 24% en Si, 8% Zn, 5% S, 2% en Cu y el resto de la composición es una mezcla de Mg, Na, Cr, Fe y otros elementos minoritarios.

Una vez recibidos los resultados de los análisis, los cuales se adjuntan en este anexo, pasamos al software de selección de materiales CES Edupack, facilitado por la Universidad de Cádiz bajo una licencia de estudiante que nos proporciona un nivel 3 de biblioteca de materiales.

Para hallar los materiales posibles debemos filtrar una lista de todas las aleaciones de aluminio con composiciones parecidas a las del análisis. En un primer filtrado, tenemos varios candidatos posibles, como son las aleaciones de aluminio de la serie 38x, concretamente la 380, A380 y la 383; de estas tres la más parecida en composición es la 383, sin embargo debemos comprobar sus propiedades mecánicas y sus capacidades de procesado, para asegurar que es posible usar este material para este propósito. Las propiedades mecánicas de esta aleación cumplen sobradamente los requisitos mecánicos para la función que desempeña el dispositivo, que recordemos, es el de sujetar el modelo impreso que va a ser fresado, por otro lado, en el apartado de procesado, es una aleación ideal para conformado por moldeo. Adjuntaremos la tabla de características completa de esta aleación al final de este anexo.

Sin embargo es evidente que la composición de la aleación de aluminio 383 es muy diferente a la de nuestra muestra analizada, por lo que propondremos una alternativa más. Observando la clasificación de las aleaciones de aluminio en CES, la familia de aleaciones con mayor contenido en Si es la de aleaciones para fundición, con hasta un 22% de silicio. Probablemente el material del soporte no se corresponda con ninguna aleación normalizada, sino que sea una aleación creada específicamente para este uso, lo cual sería razonable si la empresa no da información al respecto. Según la descripción de CES, el silicio hace que la aleación sea más fluida para llenar el molde y que se adapte a los detalles, añadir Cu y Mg permiten conseguir un endurecimiento por envejecimiento, como es el caso que nos ocupa, lo que permite una buena resistencia mecánica y una buena resistencia a la corrosión cuando se expone al agua dulce y a los refrigerantes.

II. Accesorios de fresado

Los accesorios de fresado tienen un acabado más brillante y aparentemente una densidad mayor, parecida a la de una aleación común como el acero.

El análisis de FRX de esta pieza indica que la composición es típica de un acero inoxidable AISI 304, con un 67% de Fe, un 22% de Cr, un 7% de Ni, un 1,8% de Co y el resto es una mezcla minoritaria de Si, Cu, Mo y Al. Este tipo de acero tiene una resistencia mas que suficiente y una buena resistencia a la corrosión como para desempeñar la tarea del dispositivo de fresado.

Ambas cumplen con los requisitos mecánicos y de resistencia a la corrosión de agua y refrigerante, además al ser esta una aleación estandarizada, su coste es

menor que el de la aleación de aluminio del soporte, la cual es de encargo especial para disminuir los esfuerzos de flexión en la máquina y permitir fabricar el soporte con buen detalle por fundición. Debido a que el dispositivo no tiene un gran volumen, y por lo tanto no supone un gran peso y el modelo a fresar es de una resina muy ligera, en términos de costes y de simplicidad de fabricación y comercialización, el material definitivo elegido es el acero inoxidable AISI 304.

Asimismo, elegir este material mantiene armonía con el resto de accesorios para este tipo de máquinas, cumpliendo con el estándar de la industria del mecanizado CNC.

A continuación se adjuntan los resultados de los análisis FRX y las hojas de datos de la aleación de aluminio 383 y del acero inoxidable AISI 304 para que en el momento de ejecutar el proyecto, queden ambas alternativas como materiales válidos.

RESULTADOS FRX SOPORTE DE MÁQUINA

Bruker Nano GmbH, Germany		12/09/2018						
M4 Tornado								
Results	Map							
Date:	12/09/2018							
Element	AN	[wt.%]	[norm. wt.%]	[norm. at.%]	Compound	[wt.%]	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1 Sigma)
Rhodium	45	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
Magnesium	12	0,1092	0,1771	0,2148		0,1092	0,1771	0,0001
Aluminium	13	34,6764	56,2435	61,4511		34,6764	56,2435	1,0605
Silicon	14	15,0562	24,4205	25,6328		15,0562	24,4205	0,1737
Potassium	19	0,5657	0,9175	0,6918		0,5657	0,9175	0,0001
Calcium	20	0,0472	0,0765	0,0563		0,0472	0,0765	0,0000
Titanium	22	0,1597	0,2590	0,1594		0,1597	0,2590	0,0000
Iron	26	0,1048	0,1701	0,0898		0,1048	0,1701	0,0000
Zirconium	40	0,0141	0,0229	0,0074		0,0141	0,0229	0,0000
Zinc	30	5,1722	8,3890	3,7820		5,1722	8,3890	0,0037
Sulfur	16	3,4272	5,5587	5,1104		3,4272	5,5587	0,0087
Chromium	24	0,1973	0,3200	0,1814		0,1973	0,3200	0,0000
Copper	29	1,3150	2,1328	0,9895		1,3150	2,1328	0,0002
Gallium	31	0,0269	0,0436	0,0184		0,0269	0,0436	0,0000
Nickel	28	0,0095	0,0154	0,0077		0,0095	0,0154	0,0000
Sodium	11	0,7728	1,2534	1,6072		0,7728	1,2534	0,0015
Sum:		61,654	100	100				

RESULTADOS FRX ACCESORIOS DE MÁQUINA

Bruker Nano GmbH, Germany		12/09/2018						
M4 Tornado								
Results	Map							
Date:	12/09/2018							
Element	AN	[wt.%]	[norm. wt.%]	[norm. at.%]	Compound	[wt.%]	[norm. wt.%]	Error in wt.% (1 Sigma)
Rhodium	45	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
Silicon	14	0,2495	0,2976	0,5835		0,2495	0,2976	0,0001
Aluminium	13	0,1054	0,1258	0,2566		0,1054	0,1258	0,0000
Phosphorus	15	0,1135	0,1354	0,2406		0,1135	0,1354	0,0000
Potassium	19	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
Calcium	20	0,0731	0,0872	0,1198		0,0731	0,0872	0,0000
Chromium	24	17,5995	20,9987	22,2368		17,5995	20,9987	0,0454
Iron	26	56,9762	67,9805	67,0246		56,9762	67,9805	0,4679
Cobalt	27	1,6112	1,9224	1,7961		1,6112	1,9224	0,0020
Nickel	28	6,3856	7,6189	7,1475		6,3856	7,6189	0,0064
Molybdenum	42	0,2614	0,3118	0,1790		0,2614	0,3118	0,0000
Vanadium	23	0,0322	0,0384	0,0415		0,0322	0,0384	0,0000
Titanium	22	0,0075	0,0090	0,0103		0,0075	0,0090	0,0000
Bismuth	83	0,0149	0,0177	0,0047		0,0149	0,0177	0,0000
Selenium	34	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000
Gold	79	0,0525	0,0626	0,0175		0,0525	0,0626	0,0000
Copper	29	0,3302	0,3940	0,3414		0,3302	0,3940	0,0000
Sum:		83,813	100	100				

General information

Designation

AISI 304, wrought	
Condition	Solution annealed; cold or hot finished
UNS number	S30400
US name	ASTM WP304, ASTM TP304, ASTM S30403, ASTM S30400, ASTM MT304, ASTM F304, AMS 5697, AMS 5567, AMS 5566, AMS 5565, AMS 5564, AMS 5563, ~ASTM S30453
EN name	X5CrNi18-10, LW20
EN number	~1.4948, ~1.4301
ISO name	X5CrNi18-9E, X5CrNi18-9, ~X5CrNi19-9, ~X5CrNi18-8
GB (Chinese) name	ML0Cr18Ni9, 0Cr18Ni9(-R), 0Cr18Ni9(-Q), 0Cr18Ni9(-L), 0Cr18Ni9, ~0Cr19Ni9N(-R), ~0Cr19Ni9N(-Q), ~0Cr19Ni9N(-L), ~0Cr19Ni9N
JIS (Japanese) name	SUS304, SUSF304, SUS304-WSB, SUS304-WSA, SUS304TPY, SUS304TPD, SUS304TP, SUS304TKC, SUS304TKA, SUS304TBS, SUS304TB, SUS304FB, SUS304-CSP, SUS304N1-WPB, SUS304N1-WPA, SUS304 TF, SDP4, ~SUS304L, ~SCS13AA-CF

Tradenames

STAINLESS STEEL GRADE 304, Aalco (UK); 304 STAINLESS STEEL, AK Steel (USA); STAINLESS STEEL 304, Vegas Fastener (USA); 304 STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); 304L STAINLESS STEEL, Electronic Alloys (UK); STAINLESS STEEL GRADE 304L, Aalco (UK); 304L STAINLESS STEEL, AK Steel (USA);

Typical uses

Architectural applications; beer barrels; brewing; cafeteria equipment; cookware; cryogenic plant; food and dairy-processing equipment; heat-exchanger tubes and supports; pressure vessels; process plant parts.

Composition overview

Compositional summary

Fe66-74 / Cr18-20 / Ni8-11 (impurities: Mn<2, Si<1, C<0.08, P<0.045, S<0.03)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0	-	0,08	%
Cr (chromium)	18	-	20	%
Fe (iron)	* 65,8	-	74	%
Mn (manganese)	0	-	2	%
Ni (nickel)	8	-	11	%
P (phosphorus)	0	-	0,045	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	1	%

Price

Price	* 2,14	-	2,58	EUR/kg
Price per unit volume	* 1,68e4	-	2,08e4	EUR/m^3

Physical properties

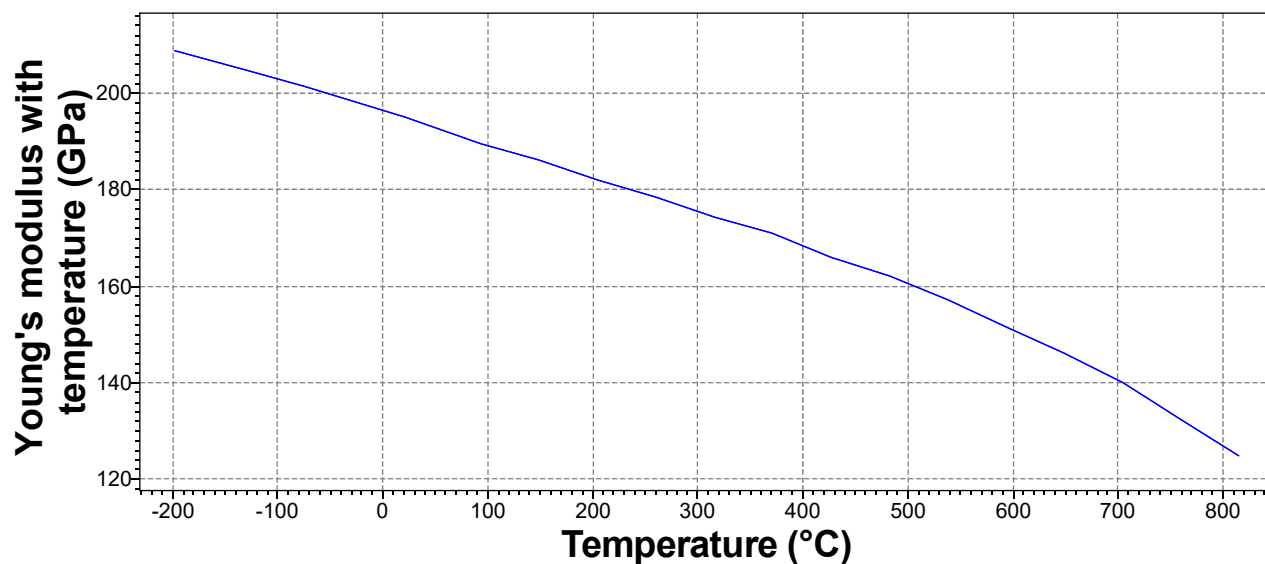
Density	7,85e3	-	8,06e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	190	-	203	GPa
-----------------	-----	---	-----	-----

Young's modulus with temperature	195	-	195	GPa
----------------------------------	-----	---	-----	-----

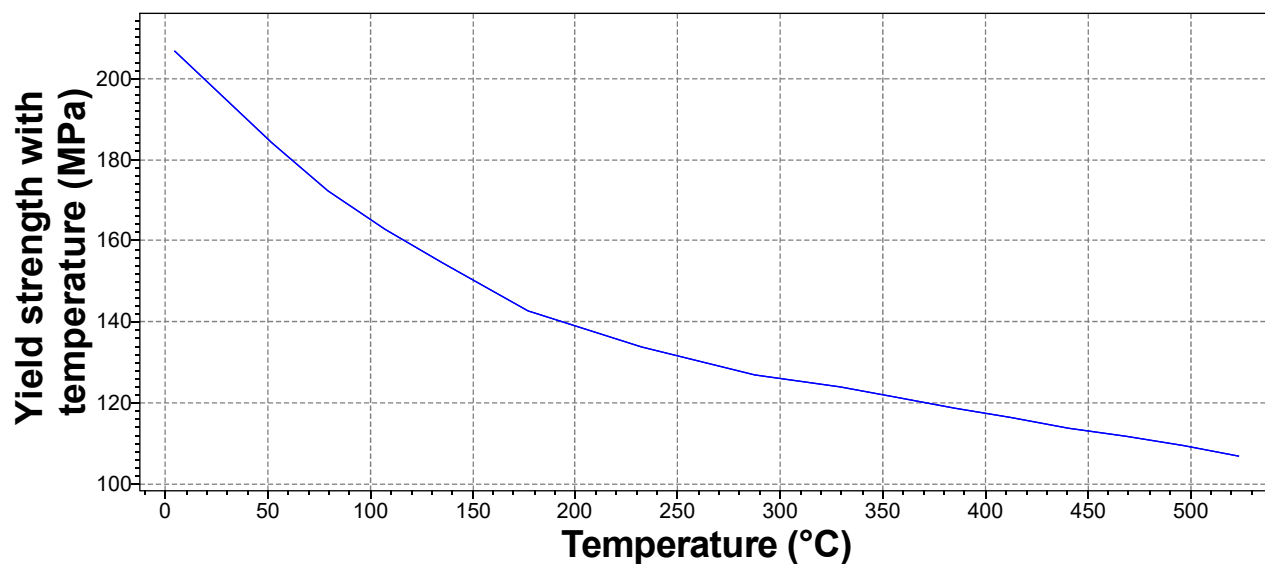
[Parameters:](#) Temperature = 23°C



Yield strength (elastic limit)	205	-	310	MPa
--------------------------------	-----	---	-----	-----

Yield strength with temperature	198	-	198	MPa
---------------------------------	-----	---	-----	-----

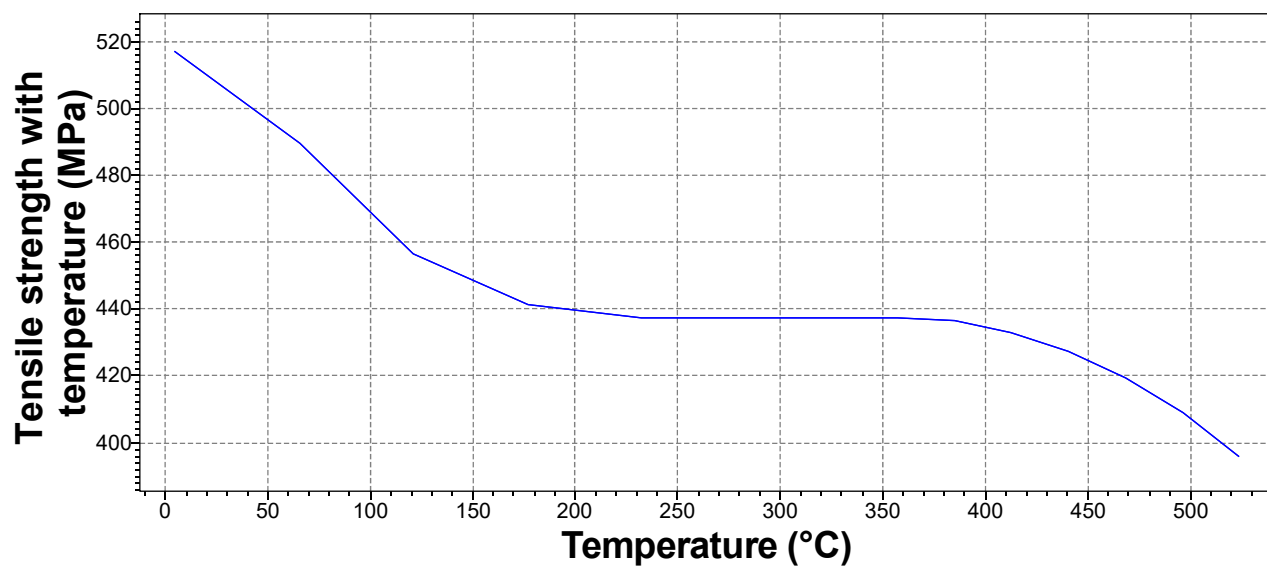
[Parameters:](#) Temperature = 23°C



Tensile strength	510	-	620	MPa
------------------	-----	---	-----	-----

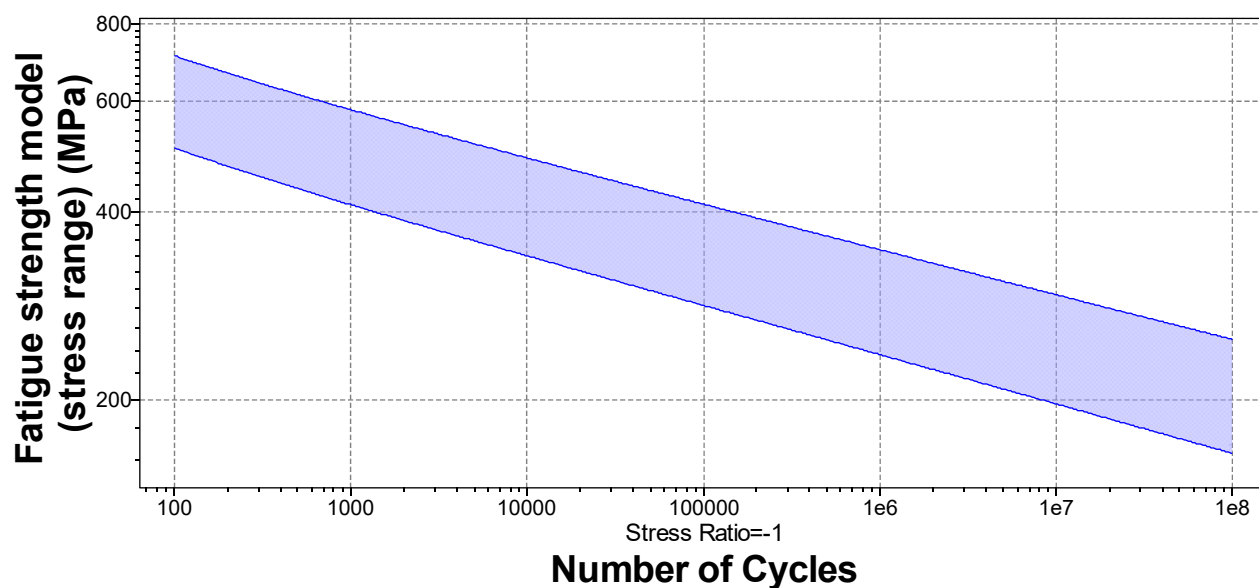
Tensile strength with temperature	509	-	509	MPa
-----------------------------------	-----	---	-----	-----

[Parameters:](#) Temperature = 23°C



Elongation	45	-	60	% strain
Compressive strength	* 205	-	310	MPa
Flexural modulus	* 190	-	203	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	205	-	310	MPa
Shear modulus	74	-	81	GPa
Bulk modulus	134	-	151	GPa
Poisson's ratio	0,265	-	0,275	
Shape factor	62			
Hardness - Vickers	170	-	210	HV
Hardness - Rockwell B	75	-	85	HRB
Hardness - Rockwell C	* 0	-	13	HRC
Hardness - Brinell	149	-	201	HB
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	229	-	253	MPa
Fatigue strength model (stress range)	316	-	455	MPa

[Parameters:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 2,5e4cycles



Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 9,5e-4	-	0,0013	
---	----------	---	--------	--

Impact & fracture properties

Fracture toughness	55	-	71	MPa.m ^{0.5}
--------------------	----	---	----	----------------------

Thermal properties

Melting point	1,4e3	-	1,45e3	°C
Maximum service temperature	750	-	925	°C
Minimum service temperature	-200			°C
Thermal conductivity	14	-	17	W/m.°C
Specific heat capacity	490	-	530	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	16	-	18	μstrain/°C
Latent heat of fusion	* 260	-	285	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	65	-	77	μohm.cm
Galvanic potential	* -0,15	-	-0,07	V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Excellent
Metal hot forming	Acceptable
Metal press forming	Excellent
Metal deep drawing	Excellent
Machining speed	25 m/min
Weldability	Excellent
Notes	Preheating and post weld heat treatments may be required
Weldability - MIG	Excellent
Weldability - plasma	Excellent
Weldability - SAW	Excellent
Weldability - TIG	Excellent
Brazeability	Fair
Carbon equivalency	0,733 - 1,03

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Acceptable
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Excellent
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent

Galling resistance (adhesive wear)

Limited use

Notes

Aluminum bronze is the most suitable mating material to minimize galling.

Flammability

Non-flammable

Corrosion resistance of metals

Pitting resistance equivalent number (PREN)

18 - 20

Pitting and crevice corrosion

Low (<20)

Stress corrosion cracking

Susceptible

Note

Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide

Intergranular (weld line) corrosion

Restricted

Inorganic acids

Moderate

Organic acids

Moderate

Alkalies

Moderate

Humidity / water

Excellent

Sea water

Moderate

Sour oil and gas

Moderate

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production

63,5 - 70 MJ/kg

Sources

56.7 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 76.6 MJ/kg (Ecoinvent v2.2)

CO2 footprint, primary production

4,31 - 4,76 kg/kg

Sources

4.53 kg/kg (Ecoinvent v2.2)

Water usage

* 138 - 153 l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Rough rolling, forging energy

* 2,29 - 2,53 MJ/kg

Rough rolling, forging CO2

* 0,172 - 0,19 kg/kg

Rough rolling, forging water

* 2,53 - 3,8 l/kg

Extrusion, foil rolling energy

* 4,3 - 4,75 MJ/kg

Extrusion, foil rolling CO2

* 0,322 - 0,356 kg/kg

Extrusion, foil rolling water

* 3,39 - 5,08 l/kg

Wire drawing energy

* 15,3 - 17 MJ/kg

Wire drawing CO2

* 1,15 - 1,27 kg/kg

Wire drawing water

* 5,78 - 8,67 l/kg

Metal powder forming energy

* 37,8 - 41,7 MJ/kg

Metal powder forming CO2

* 3,02 - 3,34 kg/kg

Metal powder forming water

* 41,2 - 61,8 l/kg

Vaporization energy

* 1,09e4 - 1,2e4 MJ/kg

Vaporization CO2

* 815 - 900 kg/kg

Vaporization water

* 4,53e3 - 6,79e3 l/kg

Coarse machining energy (per unit wt removed)

* 0,776 - 0,858 MJ/kg

Coarse machining CO2 (per unit wt removed)

* 0,0582 - 0,0643 kg/kg

Fine machining energy (per unit wt removed)

* 3,49 - 3,85 MJ/kg

Fine machining CO2 (per unit wt removed)

* 0,261 - 0,289 kg/kg

Grinding energy (per unit wt removed)

* 6,5 - 7,18 MJ/kg

Grinding CO2 (per unit wt removed)

* 0,487 - 0,539 kg/kg

Non-conventional machining energy (per unit wt removed)

* 109 - 120 MJ/kg

Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)

* 8,15 - 9 kg/kg

Values marked * are estimates.

No warranty is given for the accuracy of this data

Recycling and end of life

Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 14,1	-	15,5	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1,1	-	1,22	kg/kg
Recycle fraction in current supply	35,5	-	39,3	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			
Biodegrade	✗			

Notes

Keywords

RDN 260, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 240, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 210, Roldan S.A. (SPAIN); RDN 340, Roldan S.A. (SPAIN); YOONSTEEL S2, Yoonsteel (Malaysia) Sdn. Bhd (MALAYSIA); ARGESTE 4306 LA/LF/SB/VC, Stahlwerk Ergste Westig GmbH (GERMANY); STAINWELD 308-15, Lincoln Electric Co. (USA); STAINWELD 308-16, Lincoln Electric Co. (USA); EASTERN STAINLESS TYPE 347, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 347, Carpenter Technology Corp. (USA); EASTERN STAINLESS TYPE 304L, Eastern Stainless Corp. (USA); PROJECT 7000 STAINLESS TYPE 304L, Carpenter Technology Corp. (USA); PROJECT 70 STAINLESS TYPE 304L, Carpenter Technology Corp. (USA); SPARTAN REDHEUGH 347S31, Spartan Redheugh Ltd (UK);

Standards with similar compositions

- Australia:
304 to AS 1449, 304 to AS 2837
- Canada:
304 to CSA G110.3, 304 to CSA G110.6, 304 to CSA G110.9
- China:
0Cr19Ni9 to GB/T 4356
- Czech Republic:
17241 to CSN 417241
- France:
Z5CN18.09 to AFNOR NF A36-209, Z5CN18.09 to AFNOR NF A36-607
- Germany:
1.4308 to DIN EN 10213, GX5CrNi19-10 to DIN EN 10213
- India:
04Cr18Ni10 to IS 6529, 04Cr18Ni10 to IS 6603, 04Cr18Ni10 to IS 6911, 04Cr19Ni9 to IS 11714/4, 04Cr19Ni9 to IS 11714/5, X04Cr18Ni10 to IS 6527, X04Cr18Ni10 to IS 6528, X04Cr18Ni10 to IS 8748, X04Cr19Ni9 to IS 1570/5, X04Cr19Ni9 to IS 4454/4, X04Cr19Ni9 to IS 5522, X04Cr19Ni9 to IS 6911
- International:
X5CrNi18-9 to ISO 16143-1, X5CrNi18-9 to ISO 16143-2, X5CrNi18-9 to ISO 16143-3, X5CrNi18-9 to ISO 6931-2, X5CrNi18-9 to ISO 9328-7
- Japan:
SDP4 to JIS G3352, SUS 304 TF to JIS G3467, SUS304 to JIS G4303, SUS304 to JIS G4304, SUS304 to JIS G4305, SUS304 to JIS G4306, SUS304 to JIS G4307, SUS304 to JIS G4308, SUS304 to JIS G4309, SUS304 to JIS G4317, SUS304A to JIS G4321, SUS304-CSP to JIS G4313, SUS304FB to JIS G4319, SUS304TB to JIS G3463, SUS304TBS to JIS G3447, SUS304TKA to JIS G3446, SUS304TKC to JIS G3446, SUS304TP to JIS G3459, SUS304TPD to JIS G3448, SUS304TPY to JIS G3468, SUS304-WSA to JIS G4315, SUS304-WSB to JIS G4315, SUSF304 to JIS G3214
- Mexico:
304 to NMX-B-83, MT304 to NMX-B-171, TP304 to NMX-B-176, TP304 to NMX-B-186-SCFI, TP304 to NMX-B-196, TP304 to NMX-B-218
- Pan America:
TP 304 to COPANT R195, TP304 to COPANT 513, TP304L to COPANT 513
- South Korea:
STS 304 TKA to KS D 3536, STS 304 TKC to KS D 3536, STS 304 to KS D 3535, STS 304 to KS D 3706, STS 304-CSP to KS D 3534, STS 304-W1 to KS D 3703, STS 304-WSA to KS D 3697, STS F 304 to KS D 4115, STS304 to KS D 3692, STS304 to KS D 3698, STS304 to KS D 3702, STS304 to KS D 3705, STS304FB to KS D 3691, STS304TPY to KS D 3588
- Spain:
F.3504 to UNE 36016, X6CrNi19-10 to UNE 36016
- UK:
304C15 to BS 3100, 304C15LT196 to BS 3100, 304S15 to BS 1449/2, 304S15 to BS 6258, 304S15 to BS 970/1, X5CrNi18-10 to BS EN 10088-1, X5CrNi18-10 to BS EN 10088-2, X5CrNi18-10 to BS EN 10088-3
- USA:
304 to ASTM A368-95a, 304 to ASTM A473, 304 to ASTM A478-97, 304 to ASTM A793-96, 304 to ASTM A908, 304 to MIL-S-27419, 304 to MIL-T-8504B, 304 to MIL-T-8506A, 304 to SAE J467, 5501 to AMS 5501, 5513 to AMS 5513, 5563 to AMS 5563, 5564 to AMS 5564, 5565 to AMS 5565, 5566 to AMS 5566, 5567 to AMS 5567, 5639 to AMS 5639, 5697 to AMS 5697, 7228 to AMS 7228, 7245 to AMS 7245, 8A to ASTM A194/A194M, B8 Class 1 to ASTM A320/A320M, B8 Class 1/1D to ASTM A193/A193M, B8 Class 2 to ASTM A193/A193M, B8 Class 2 to ASTM A320/A320M, B8 Class 2B to ASTM A193/A193M, B8A Class 1A to ASTM A193/A193M, B8A Class 1A to ASTM A320/A320M, B8N Class 2 to ASTM A193/A193M, CR304 to ASTM A403/A403M, F304 to ASTM A182/A182M, F304 to ASTM A336/A336M, F304 to ASTM A965/A965M, Grade 8 to ASTM A194/A194M, MT304 to ASTM A511, MT-304 to ASTM A554, S30400 to ASTM A240/A240M, S30400 to ASTM A276, S30400 to ASTM A313/A313M, S30400 to ASTM A314-97, S30400 to ASTM A479/A479M, S30400 to ASTM A492-95, S30400 to ASTM A580/A580M-98, S30400 to ASTM A666, S30400 to ASTM A955/A955M, S30400 to ASTM A959, S30400 to ASTM A988/A988M-98, S30400 to SAE J405, TP304 to ASTM A213/A213M, TP304 to ASTM A249/A249M, TP304 to ASTM A269, TP304 to ASTM A270, TP304 to ASTM A312/A312M, TP304 to ASTM A376/A376M, TP304 to ASTM A409/A409M, TP304 to ASTM A632, TP304 to ASTM A688/A688M, TP304 to ASTM A814/A814M, TP304 to ASTM A851, TP304 to ASTM A943/A943M, UNS S30400, UNS S30481, WP304 to ASTM A403/A403M
- Tradenames:
AL TECH TYPE 304EZ, ARISTOLOY 304, EASTERN STAINLESS TYPE 304, EKATIT 18-8 S, EMPIRE TYPE 304EZ, IN-FLUX 308L-T1, NOVONIT 4302 B, NOVONIT 4302 R, OLSA-304, PRODEC STAINLESS TYPE 304, PRODEC STAINLESS TYPE 316L, PROJECT 70 STAINLESS TYPE 304, PROJECT 7000 STAINLESS TYPE 304, SLATER AISI TYPE 304, SLATER TYPE 304 MAX MACHINABILITY, SPARTAN REDHEUGH 304S15, UNILLOY 304, Z 178

Links

MMPDS equivalent alloys

MMPDS similar alloys

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

General information

Designation

383.0 (Aluminum Association)

Condition

F (As-fabricated)

UNS number

A03830

Composition overview

Compositional summary

Al80-88 / Si9.5-12 / Cu2-3 (impurities: Zn<3, Fe<1.3, Mn<0.5, Ni<0.3, Sn<0.15, Mg<0.1, Other<0.5)

Material family

Metal (non-ferrous)

Base material

Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	* 79,6	-	88,5	%
Cu (copper)	2	-	3	%
Fe (iron)	0	-	1,3	%
Mg (magnesium)	0	-	0,1	%
Mn (manganese)	0	-	0,5	%
Ni (nickel)	0	-	0,3	%
Si (silicon)	9,5	-	11,5	%
Sn (tin)	0	-	0,15	%
Zn (zinc)	0	-	3	%
Other	0	-	0,5	%

Price

Price	* 1,87	-	2,02	EUR/kg
Price per unit volume	* 5,08e3	-	5,6e3	EUR/m^3

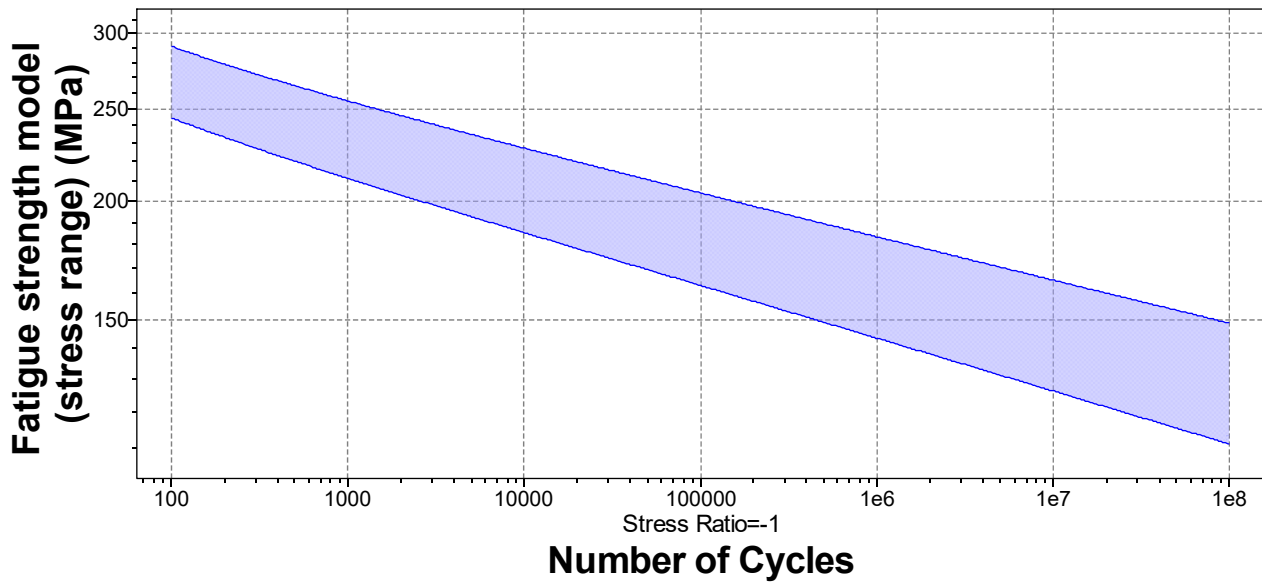
Physical properties

Density	2,71e3	-	2,77e3	kg/m^3
---------	--------	---	--------	--------

Mechanical properties

Young's modulus	69,6	-	72,4	GPa
Yield strength (elastic limit)	143	-	158	MPa
Tensile strength	310	-	341	MPa
Elongation	3,5	-	4,2	% strain
Compressive strength	* 143	-	158	MPa
Flexural modulus	* 69,6	-	72,4	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 150	-	165	MPa
Shear modulus	* 26	-	27,4	GPa
Bulk modulus	* 65,2	-	74,5	GPa
Poisson's ratio	0,322	-	0,338	
Shape factor	36			
Hardness - Vickers	* 88	-	100	HV
Fatigue strength at 10^7 cycles	131	-	160	MPa
Fatigue strength model (stress range)	176	-	218	MPa

[Parameters:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 2,5e4cycles



Mechanical loss coefficient (tan delta) * 0,0391 - 0,0465

Impact & fracture properties

Fracture toughness * 24,1 - 28 MPa.m^{0.5}

Thermal properties

Melting point	502	-	596	°C
Maximum service temperature	150	-	170	°C
Minimum service temperature	-273			°C
Thermal conductivity	92,2	-	99,8	W/m.°C
Specific heat capacity	944	-	982	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	20,6	-	21,6	μstrain/°C
Latent heat of fusion	* 384	-	393	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	2,2	-	2,3	μohm.cm
Galvanic potential	* -0,72	-	-0,64	V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

Processing properties

Metal casting	Excellent
Metal cold forming	Unsuitable
Metal hot forming	Unsuitable
Metal press forming	Unsuitable
Metal deep drawing	Unsuitable
Machining speed	33,5 m/min
Weldability	Excellent

Notes	Preheating is not required, post weld heat treatment is required
-------	--

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Acceptable
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Unacceptable
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Acceptable

Notes

Lead-tin overlay required to prevent galling of bearings.

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

Corrosion resistance of metals

Stress corrosion cracking	Susceptible
Note	Rated in chloride; Other susceptible environments: Halide, water

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 173	-	191	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 11	-	12,1	kg/kg
Water usage	* 980	-	1,08e3	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Casting energy	* 10,4	-	11,5	MJ/kg
Casting CO2	* 0,625	-	0,691	kg/kg
Casting water	* 19,7	-	29,5	l/kg
Vaporization energy	* 1,55e4	-	1,71e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 930	-	1,03e3	kg/kg
Vaporization water	* 6,45e3	-	9,68e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0,996	-	1,1	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0598	-	0,0661	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 5,69	-	6,29	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,341	-	0,377	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 10,9	-	12	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0,654	-	0,723	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 155	-	171	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 9,3	-	10,3	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle	✓			
Embodied energy, recycling	* 30,1	-	33,3	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 2,36	-	2,61	kg/kg
Recycle fraction in current supply	40,5	-	44,7	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✗			
Landfill	✓			

Biodegrade

Notes

Standards with similar compositions

- Japan:
AD12.1 to JIS H2118, AD12Z.1 to JIS H2118, ADC12 to JIS H5302, ADC12Z to JIS H5302
- South Africa:
Al-Si11Cu2 to SABS 992
- USA:
383, 383.1, 383.1 to ASTM B179, 385.1, A03830 to SAE J452, SC102A to ASTM B85, UNS A03830, UNS A03831, UNS A03851
- Tradenames:
ALCOA 383.1

Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

Shape

Anexo II: calibrado del escáner 3D

Para llevar a cabo las pruebas de ajuste de en las diferentes fases del proyecto, debemos llevar a cabo un calibrado del escáner 3D para conseguir la mejor medición posible.

El escáner que se utilizará para este proyecto es el escáner Zfx, es un escáner propio de un laboratorio dental; es un escáner de alta precisión que cuenta con dos cámaras y un proyector que proyecta la imagen de diferentes mallas sobre el modelo a escanear, de modo que la curvatura de esta imagen sobre el modelo sea captada por las dos cámaras. Esta información es la que se utiliza para crear el modelo 3D, pues se crea una nube de puntos en el espacio que se une mediante triangulación, de modo que se crea una superficie mallada exportable en formato .STL y que podrá compararse con el modelo original diseñado en Catia mediante el software del escáner.

En este anexo se recomienda realizar una calibración por cada prueba que sea necesaria a la hora de comprobar el ajuste de los modelos. No se explicará el método de calibración del escáner, pues cada uno tiene su propio método y es algo trivial.

Se adjuntará a este anexo los informes de calibración del escáner, para poder comprobar la tolerancia que se ha tenido en cuenta, para así valorar correctamente la verificación del ajuste.



Protocolo de calibración

usuario:	
Fecha / hora:	2018_08_06 / 12_03_47
Signo del usuario:	

escáner

Nombre del Sensor:	0100-0024
Número de serie cámara hacia la izquierda:	4002882493
Número de serie cámara derecha:	4002882908

resultado

Rms desviación de puntos del objeto (m):	7.10603
Screenshot:	
Informaciones adicionales:	

Anexo III: hoja de datos del refrigerante

Safety data sheet according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier**Trade name:** SWISSGRIND ZOOM AQUA**1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against**

No further relevant information available.

Application of the substance / the mixture

Coolant/ Cutting solution

Only for proper handling.

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet**Manufacturer/Supplier:**

MOTOREX AG LANGENTHAL

Schmiertechnik

Bern-Zürich-Strasse 31

CH-4901 Langenthal

Tel. +41 (0)62 919 74 74

Only representative in EU:

MOTOREX Deutschland AG, Bismarckstrasse 28, D-69198 Schriesheim

Further information obtainable from: msds@motorex.com**1.4 Emergency telephone number:**

In case of a medical emergency following exposure to a chemical, the public should call NHS Direct in England or Wales 0845 46 47 or NHS 24 in Scotland 08454 24 24 24 (UK only).

SECTION 2: Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture**Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008**

The product is not classified, according to the CLP regulation.

2.2 Label elements**Labelling according to Regulation (EC) No 1272/2008** Void**Hazard pictograms** Void**Signal word** Void**Hazard statements** Void**Additional information:**

Contains 3-Iodo-2-propynylbutylcarbamate. May produce an allergic reaction.

Safety data sheet available on request.

2.3 Other hazards**Results of PBT and vPvB assessment****PBT:** Not applicable.**vPvB:** Not applicable.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.2 Chemical characterisation: Mixtures**Description:** Mixture of substances listed below with nonhazardous additions.**Dangerous components:** Void**Additional information:** For the wording of the listed hazard phrases refer to section 16.

GB

(Contd. on page 2)

Safety data sheet

according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

Trade name: SWISSGRIND ZOOM AQUA

(Contd. of page 1)

SECTION 4: First aid measures

- **4.1 Description of first aid measures**
- **General information:** No special measures required.
- **After inhalation:** Supply fresh air; consult doctor in case of complaints.
- **After skin contact:** Remove residues with soap and water.
- **After eye contact:** Rinse opened eye for several minutes under running water.
- **After swallowing:** Do not induce vomiting. Do not take in resorption stimulating agents.
- **4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed**
No further relevant information available.
- **4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed**
No further relevant information available.

SECTION 5: Firefighting measures

- **5.1 Extinguishing media**
- **Suitable extinguishing agents:**
Non-combustible product.
Use fire extinguishing methods suitable to surrounding conditions.
- **5.2 Special hazards arising from the substance or mixture**
No further relevant information available.
- **5.3 Advice for firefighters**
- **Protective equipment:** No special measures required.
- **Additional information** This product is not flammable due to the high water content.

SECTION 6: Accidental release measures

- **6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**
Not required.
- **6.2 Environmental precautions:**
Dilute with plenty of water.
Do not allow to enter sewers/ surface or ground water.
- **6.3 Methods and material for containment and cleaning up:**
Absorb with liquid-binding material (sand, diatomite, acid binders, universal binders, sawdust).
- **6.4 Reference to other sections**
No dangerous substances are released.
See Section 7 for information on safe handling.
See Section 8 for information on personal protection equipment.
See Section 13 for disposal information.

SECTION 7: Handling and storage

- **7.1 Precautions for safe handling** No special measures required.
- **Information about fire - and explosion protection:** No special measures required.
- **7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities**
- **Storage:**
- **Requirements to be met by storerooms and receptacles:** No special requirements.
- **Information about storage in one common storage facility:** Not required.
- **Further information about storage conditions:**
Store containers closed and protect against rain, dust, heat and other atmospheric influences.

(Contd. on page 3)

GB

Safety data sheet

according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

Trade name: SWISSGRIND ZOOM AQUA

(Contd. of page 2)

- Avoid freezing.
- **Storage class:** 12
- **7.3 Specific end use(s)** No further relevant information available.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

- **Additional information about design of technical facilities:** No further data; see item 7.
- **8.1 Control parameters**
- **Ingredients with limit values that require monitoring at the workplace:**
The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- **Additional information:** The lists valid during the making were used as basis.
- **8.2 Exposure controls**
- **Personal protective equipment:**
- **General protective and hygienic measures:**
Keep away from foodstuffs, beverages and feed.
Wash hands before breaks and at the end of work.
Do not inhale gases / fumes / aerosols.
- **Respiratory protection:**
Not necessary if room is well-ventilated.
Respiratory protection if formation of aerosol or mist: use mask with filter type A2, A2/P2 or ABEK.
- **Protection of hands:**
The glove material has to be impermeable and resistant to the product/ the substance/ the preparation.
Selection of the glove material on consideration of the penetration times, rates of diffusion and the degradation
- **Material of gloves**
Protective gloves to EN374, resistant to oil in use. Standard EN 374 Level 3 control G1
The selection of the suitable gloves does not only depend on the material, but also on further marks of quality and varies from manufacturer to manufacturer.
Fluorocarbon rubber (Viton)
Nitrile rubber, NBR
Recommended thickness of the material: ≥ 0.4 mm
- **Penetration time of glove material**
The exact break through time has to be found out by the manufacturer of the protective gloves and has to be observed.
For the mixture of chemicals mentioned below the penetration time has to be at least 60 minutes (Permeation according to EN 374 Part 3: Level 1).
- **Eye protection:** Goggles recommended during refilling
- **Body protection:** Protective work clothing

SECTION 9: Physical and chemical properties

- **9.1 Information on basic physical and chemical properties**
- **General Information**
- **Appearance:**
- **Form:** Fluid
- **Colour:** Yellowish
- **Odour:** weak
- **Odour threshold:** Not determined.

(Contd. on page 4)

Safety data sheet according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

Trade name: SWISSGRIND ZOOM AQUA

(Contd. of page 3)

· pH-value at 20 °C:	8.5 (DIN 51369)
· Change in condition Melting point/freezing point:	Undetermined.
Initial boiling point and boiling range:	100 °C (DIN EN ISO 3405)
· Flash point:	Not applicable.
· Flammability (solid, gas):	Not applicable.
· Decomposition temperature:	Not determined.
· Auto-ignition temperature:	Product is not selfigniting.
· Explosive properties:	Product does not present an explosion hazard.
· Explosion limits: Lower:	Not determined.
Upper:	Not determined.
· Vapour pressure:	Not determined.
· Density at 20 °C:	1.107 g/cm ³ (ASTM D 4052)
· Relative density	Not determined.
· Vapour density	Not determined.
· Evaporation rate	Not determined.
· Solubility in / Miscibility with water:	Fully miscible.
· Partition coefficient: n-octanol/water:	Not determined.
· Viscosity: Dynamic:	Not determined.
Kinematic:	7 mm ² /s @ 20 °C
Solids content:	0.0 %
· 9.2 Other information	No further relevant information available.

SECTION 10: Stability and reactivity

- **10.1 Reactivity** No further relevant information available.
- **10.2 Chemical stability**
- **Thermal decomposition / conditions to be avoided:**
No decomposition if used according to specifications.
- **10.3 Possibility of hazardous reactions** No dangerous reactions known.
- **10.4 Conditions to avoid** No further relevant information available.
- **10.5 Incompatible materials:** No further relevant information available.
- **10.6 Hazardous decomposition products:** No dangerous decomposition products known.

SECTION 11: Toxicological information

- **11.1 Information on toxicological effects**
- **Acute toxicity** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **Primary irritant effect:**
- **Skin corrosion/irritation** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **Serious eye damage/irritation**
Based on available data, the classification criteria are not met.

(Contd. on page 5)

GB

Safety data sheet

according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

Trade name: SWISSGRIND ZOOM AQUA

(Contd. of page 4)

- **Respiratory or skin sensitisation**
Based on available data, the classification criteria are not met.
- **CMR effects (carcinogenicity, mutagenicity and toxicity for reproduction)**
- **Germ cell mutagenicity** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **Carcinogenicity** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **Reproductive toxicity** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **STOT-single exposure** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **STOT-repeated exposure** Based on available data, the classification criteria are not met.
- **Aspiration hazard** Based on available data, the classification criteria are not met.

SECTION 12: Ecological information

- **12.1 Toxicity**
- **Aquatic toxicity:** No further relevant information available.
- **12.2 Persistence and degradability** No further relevant information available.
- **12.3 Bioaccumulative potential** No further relevant information available.
- **12.4 Mobility in soil** No further relevant information available.
- **Additional ecological information:**
- **General notes:**
Water hazard class 2 (according to Appendix 1 AWSV): significantly hazardous to water
Do not allow product to reach ground water, water course or sewage system.
Danger to drinking water if even small quantities leak into the ground.
- **12.5 Results of PBT and vPvB assessment**
- **PBT:** Not applicable.
- **vPvB:** Not applicable.
- **12.6 Other adverse effects** No further relevant information available.

SECTION 13: Disposal considerations

- **13.1 Waste treatment methods**
 - **Recommendation**
Must not be disposed together with household garbage. Do not allow product to reach sewage system.
Contact waste processors for recycling information.
- | | |
|---------------------------------|--|
| European waste catalogue | |
| 12 01 09* | machining emulsions and solutions free of halogens |
- **Uncleaned packaging:**
 - **Recommendation:** Disposal must be made according to official regulations.
 - **Recommended cleansing agents:** Water, if necessary together with cleansing agents.

SECTION 14: Transport information

- | | |
|--|------|
| · 14.1 UN-Number | |
| · ADR/RID/ADN, ADN, IMDG, IATA | Void |
| · 14.2 UN proper shipping name | |
| · ADR/RID/ADN, ADN, IMDG, IATA | Void |
| · 14.3 Transport hazard class(es) | |
| · ADR/RID/ADN, ADN, IMDG, IATA | |
| · Class | Void |

(Contd. on page 6)

Safety data sheet

according to (EU) 2015/830

Printing date 14.05.2018

Version number 1.2

Revision: 14.05.2018

Trade name: SWISSGRIND ZOOM AQUA

(Contd. of page 5)

- | | |
|--|-----------------|
| · 14.4 Packing group | |
| · ADR/RID/ADN, IMDG, IATA | Void |
| · 14.5 Environmental hazards: | |
| · Marine pollutant: | No |
| · 14.6 Special precautions for user | Not applicable. |
| · 14.7 Transport in bulk according to Annex II of Marpol and the IBC Code | Not applicable. |
| · UN "Model Regulation": | Void |

SECTION 15: Regulatory information

- **15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture**
- **Directive 2012/18/EU**
- **Named dangerous substances - ANNEX I** None of the ingredients is listed.
- **Other regulations, limitations and prohibitive regulations**
- **Regulation (EU) No 528/2012 - use of biocidal products**
 Contains a biocidal product (fungicide; CAS 55406-53-6; 3-Iodo-2-Propynylbutylcarbamate (IPBC))
 Contains a biocidal product (bactericide; CAS 2682-20-4; 2-Methyl-2H-Isothiazol-3-one (MIT))
 Contains a biocidal product (bactericide; CAS 2634-33-5; 1,2-Benzisothiazol-3(2H)-one (BIT))
 Contains a biocidal product (bactericide, fungicide, CAS 2372-82-9, N- (3-aminopropyl) -N-dodecylpropane-1,3-diamine)
- **UFI Code** 16WE-HEEX-9001-PM8U
- **15.2 Chemical safety assessment:**
 A Chemical Safety Assessment has not been carried out.

SECTION 16: Other information

This information is based on our present knowledge. However, this shall not constitute a guarantee for any specific product features and shall not establish a legally valid contractual relationship.

The classification of the mixture was carried out by calculation in accordance with the rules laid down in Annex I of Regulation (EC) No 1272/2008.

No special training instructions to ensure protection of human health and environment are required.

- **Department issuing SDS:** Abteilung Produktsicherheit
- *** Data compared to the previous version altered.**

GB